

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE MADRID

ESCUELA POLITECNICA SUPERIOR



**Grado en Ingeniería de Tecnologías y servicios de
Telecomunicación**

TRABAJO FIN DE GRADO

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE NUEVAS ANTENAS
ULTRA WIDE BAND CON FILTROS DE RECHAZO DE
BANDAS**

Darío del Álamo Colmenarejo

Tutor: Bazil Taha Ahmed

FEBRERO 2016

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE NUEVAS ANTENAS ULTRA WIDE BAND CON FILTROS DE RECHAZO DE BANDAS

AUTOR: Darío del Álamo Colmenarejo

TUTOR: Bazil Taha Ahmed

Grupo de Radiofrecuencia: Circuitos, Antenas y Sistemas (RFCAS)

Dpto. de Tecnología electrónica y de las Comunicaciones

Escuela Politécnica Superior

Universidad Autónoma de Madrid

Febrero de 2016



Resumen

En este Trabajo Fin de Grado se diseñarán, construirán y medirán varios elementos UWB con diferentes características (forma del parche, técnica de filtrado), así como antenas de diversidad de polarización formadas por dos elementos UWB.

El objetivo de estas antenas es trabajar en el sistema de comunicaciones inalámbricas Ultra Wideband, por lo que deben funcionar en la banda de trabajo comprendida entre 3.1 GHz y 10.6 GHz. Dado que las antenas cubren una banda tan extensa, se pueden producir interferencias con sistemas adyacentes, por lo que se integrarán estructuras de filtrado en la propia antena.

En primer lugar, se realizará un estudio de la tecnología UWB y se decidirá el material y el grosor del sustrato que se utilizará en la construcción, así como el tipo de conector.

Posteriormente, se diseñarán los elementos unitarios, tanto con filtros como sin ellos.

Una vez diseñados los elementos unitarios, se formarán las antenas de diversidad de polarización compuestas por dos de dichos elementos.

A continuación, se llevará a cabo la construcción de algunas de las antenas diseñadas en el Laboratorio de Circuitos Impresos de la Escuela Politécnica Superior de la UAM y se medirán con un analizador de espectros situado también en la Escuela Politécnica Superior de la UAM.

Finalmente, se realizará una comparación de los resultados obtenidos tras la medida y los obtenidos en simulación.

Abstract

This Bachelor Thesis deals with the design, construction and measurement of UWB elements with different features (shape of the patch, filtering technique) and polarization diversity antennas consisting of two UWB elements.

The objective of these antennas is working in the Ultra Wideband system wireless communications, so that antennas must operate in the band between 3.1 GHz and 10.6 GHz. As these antennas cover a very wide band, it may cause interferences with adjacent systems, so filtering structures will be integrated into de antenna.

First, a study of UWB technology will be carried out and the material and thickness of the substrate to be used in construction and the kind of connector will be decided.

Then, the unit elements will be designed with filters and without them.

Next, some of the designed antennas will be manufactured in the Laboratory of Printed Circuits at Superior Polytechnic School of the UAM and will be measured with a spectrum analyzer also located on the Superior Polytechnic School of the UAM.

Finally, the results obtained from the measurements will be compared with the simulation results.

Palabras clave

UWB, antena, microstrip, impedancia, parámetros S, adaptación, coeficiente de reflexión, ancho de banda, parche, monopolo, filtro notch, constante dieléctrica, sustrato, acoplo, conector SMA.

Keywords

UWB, antenna, microstrip, impedance, S-parameters, adaptation, reflection coefficient, bandwidth, patch, monopole, notch filter, dielectric constant, substrate, coupling coefficient, SMA connector.

Agradecimientos

Tras un largo camino, me hallo al final de la meta, una meta difícil que pone final a una etapa de mi vida y que hubiera sido imposible sin el apoyo de algunas personas.

En primer lugar agradecer a mi tutor Bazil, por su paciencia y tiempo prestados, ya que ha tenido siempre el despacho abierto para recibirme y ayudarme con cualquier problema que me surgiera.

No me olvido tampoco de todos los profesores que he tenido a lo largo de estos años, todos y cada uno de ellos han contribuido a mi enseñanza y me han aportado algo nuevo.

También quiero agradecer a mis compañeros, que me han acompañado en tantas comidas que hemos pasado en la universidad y en todas esas horas que hemos pasado haciendo prácticas.

Es inevitable acordarme de mi novia Virginia, que llegó a mitad de este largo camino pero siempre ha estado ahí para mí. Gracias por ser mi desahogo y soportarme en esos días en los que sentía que no podía más.

Por último y sin duda los más importantes, gracias a mis padres Conchi y Juan, gracias por creer en mí, gracias por vuestro apoyo y vuestro ánimo, por los esfuerzos que habéis hecho, sin vosotros jamás hubiera sido posible que llegara este momento.

INDICE DE CONTENIDOS

1	Introducción.....	1
1.1	Motivación.....	1
1.2	Objetivos	1
1.3	Organización de la memoria.....	2
2	Fundamentos teóricos de antenas	3
2.1	Introducción.....	3
2.2	Definición.....	3
2.3	Parámetros Básicos.....	4
2.3.1	Parámetros S	4
2.3.2	Adaptación	5
2.3.3	Polarización	5
2.3.4	Ancho de banda	6
2.4	Banda de frecuencias	6
2.5	Teoría microstrip	7
2.5.1	Concepto y características	7
2.5.2	Constante dieléctrica efectiva y longitud de onda	7
2.5.3	Alimentación microstrip	8
3	Tecnología UWB.....	9
3.1	Introducción.....	9
3.2	Definición.....	9
3.3	Ventajas de UWB	10
3.4	Retos tecnológicos.....	11
4	Criterios de diseño	12
4.1	Introducción.....	12
4.2	Ancho de banda y frecuencias de resonancia	12
4.3	Coexistencia de los distintos servicios	12
4.4	Filtros notch.....	12
4.5	Simulación con conector	13
4.6	Parámetros de los sustratos utilizados	14
5	Diseño de elementos UWB.....	15
5.1	Introducción.....	15
5.2	Antenas sin conector	15
5.2.1	Antena circular sin filtros	15
5.2.2	Diseño principal con filtros	17
5.3	Antenas con conector	20
5.3.1	Antena circular sin filtros	21
5.3.2	Diseño principal con filtros	22
5.4	Reestructuración de los diseños para su impresión	23
5.4.1	Antena circular sin filtros	23
5.4.2	Diseño principal con filtros	25
6	Diseño de antenas UWB con diversidad de polarización.....	27
6.1	Introducción.....	27
6.2	Antena con filtros sin conductor intermedio	27
6.3	Antena con filtros y conductor intermedio	29
6.4	Antena con filtros y conductor intermedio circular.....	30
7	Medidas	33
7.1	Introducción.....	33
7.2	Antena circular sin filtros y conector	33
7.3	Diseño principal con filtros y sin conector.....	34

7.3.1 Comparación de antena con y sin conector (simulación)	35
7.3.2 Comparación de antenas sin conector (simulada) y real	36
7.3.3 Comparación de antenas con conector (simulada) y real	36
7.4 Diseño principal con filtros y con conector.....	37
8 Conclusiones y Trabajo Futuro	39
8.1 Conclusiones	39
8.2 Trabajo Futuro	40
Referencias	41
Anexos.....	I
A. Diferentes estéticas de diseño simulados sin conector	I
Diseño con forma de gato (sin conector)	I
Diseño con forma de robot (sin conector)	II
B. Diferentes estéticas de diseño simuladas con conector	IV
Diseño con forma de gato (con conector).....	IV
Diseño con forma de robot (con conector)	V

INDICE DE FIGURAS

FIGURA 2-1: ESQUEMA DE ANTENA.....	3
FIGURA 2-2: ESQUEMA DE RED DE DOS PUERTOS.....	4
FIGURA 2-3: ESQUEMA DE ANTENA CONECTADA A UN GENERADOR MEDIANTE UNA LÍNEA DE TX ..	5
FIGURA 2-4: ESTRUCTURA DE LÍNEA MICROSTRIP	7
FIGURA 2-5: ALIMENTACIÓN POR CONECTOR COAXIAL HORIZONTAL DE LA LÍNEA.....	8
FIGURA 3-1: COMPARATIVA DEL ESPECTRO DE UWB CON OTRAS TECNOLOGÍAS	10
FIGURA 4-1: FILTRO INTERNO AL PARCHÉ	12
FIGURA 4-2: FILTRO EXTERNO AL PARCHÉ	13
FIGURA 4-3: FILTRO EN EL PLANO DE MASA	13
FIGURA 4-4: FILTRO EN LA LÍNEA DE ALIMENTACIÓN	13
FIGURA 4-5: CONECTOR SMA DIBUJADO EN CST	14
FIGURA 5-1: ESQUEMA DE ANTENA CIRCULAR SIN FILTROS	15
FIGURA 5-2: COEFICIENTE DE REFLEXIÓN DE LA ANTENA CIRCULAR SIN FILTROS.....	16
FIGURA 5-3: ANTENA CIRCULAR CON FILTROS	17
FIGURA 5-4: MEDIDAS ANTENA CIRCULAR CON FILTROS	19
FIGURA 5-5: COEFICIENTE DE REFLEXIÓN DE ANTENA CIRCULAR CON FILTROS	20
FIGURA 5-6: ANTENA CIRCULAR SIN FILTROS Y CONECTOR	21
FIGURA 5-7: PARÁMETROS S DE LA ANTENA CIRCULAR CON FILTROS Y CONECTOR.....	21
FIGURA 5-8: ANTENA CIRCULAR CON FILTROS Y CONECTOR.....	22
FIGURA 5-9: COEFICIENTE DE REFLEXIÓN DE LA ANTENA CIRCULAR CON FILTROS Y CONECTOR ..	23
FIGURA 5-10: ANTENA CIRCULAR REESTRUCTURADA.....	24
FIGURA 5-11: COEFICIENTE DE REFLEXIÓN DE LA ANTENA CIRCULAR REESTRUCTURADA	24
FIGURA 5-12: ANTENA CON FILTROS REESTRUCTURADA	25
FIGURA 5-13: COEFICIENTE DE REFLEXIÓN DE LA ANTENA CON FILTROS REESTRUCTURADA	26
FIGURA 6-1: ESQUEMA DE LA ANTENA SIN CONDUCTOR INTERMEDIO	28
FIGURA 6-2: COEFICIENTE DE REFLEXIÓN DE LA ANTENA SIN CONDUCTOR INTERMEDIO.....	28
FIGURA 6-3: ACOPLAMIENTO DE LA ANTENA SIN CONDUCTOR INTERMEDIO	29
FIGURA 6-4: ESQUEMA DE ANTENA CON CONDUCTOR INTERMEDIO.....	29
FIGURA 6-5: COEFICIENTE DE REFLEXIÓN DE LA ANTENA CON CONDUCTOR INTERMEDIO	30
FIGURA 6-6: ACOPLAMIENTO DE LA ANTENA CON CONDUCTOR INTERMEDIO	30
FIGURA 6-7: ESQUEMA DE LA ANTENA CON CONDUCTOR INTERMEDIO CIRCULAR	31
FIGURA 6-8: REFLEXIÓN DE LA ANTENA CON CONDUCTOR INTERMEDIO CIRCULAR.....	31

FIGURA 6-9: ACOPLAMIENTO DE LA ANTENA CON CONDUCTOR INTERMEDIO CIRCULAR	32
FIGURA 7-1: FOTOGRAFÍA DE ANTENA CIRCULAR SIN FILTROS	33
FIGURA 7-2: COMPARACIÓN REAL Y SIMULADA DE LA ANTENA CIRCULAR SIN FILTROS	34
FIGURA 7-3: FOTOGRAFÍA DE ANTENA CIRCULAR CON FILTROS.....	35
FIGURA 7-4: COMPARACIÓN SIMULADA DE LA ANTENA CIRCULAR CON FILTROS	35
FIGURA 7-5: COMPARACIÓN REAL Y SIMULADA (SIN CONECTOR) DE LA ANTENA CON FILTROS.....	36
FIGURA 7-6: COMPARACIÓN REAL Y SIMULADA (CON CONECTOR) DE LA ANTENA CON FILTROS ...	37
FIGURA 7-7: FOTOGRAFÍA DE DISEÑO CON CONECTOR	38
FIGURA 7-8: COMPARACIÓN REAL Y SIMULADA DE LA ANTENA CON FILTROS Y CONECTOR	38
FIGURA A 1: ANTENA CON FORMA DE GATO.....	I
FIGURA A 2: COEFICIENTE DE REFLEXIÓN DE LA ANTENA CON FORMA DE GATO.....	II
FIGURA A 3: ANTENA CON FORMA DE ROBOT.....	II
FIGURA A 4: COEFICIENTE DE REFLEXIÓN DE LA ANTENA CON FORMA DE ROBOT	III
FIGURA B 1: ANTENA CON FORMA DE GATO Y CONECTOR	IV
FIGURA B 2: COEFICIENTE DE REFLEXIÓN DE LA ANTENA CON FORMA DE GATO Y CONECTOR	IV
FIGURA B 3: ANTENA CON FORMA DE ROBOT Y CONECTOR	V
FIGURA B 4: COEFICIENTE DE REFLEXIÓN DE LA ANTENA CON FORMA DE ROBOT Y CONECTOR	V

INDICE DE TABLAS

TABLA 1: PARÁMETROS S DE UNA RED DE DOS PUERTOS	4
TABLA 2: BANDA DE FRECUENCIAS EN EL RANGO DE LAS MICROONDAS	6
TABLA 3: MEDIDAS ANTENA CIRCULAR CON FILTROS	20
TABLA 4: DIMENSIONES DE LA ANTENA CIRCULAR REESTRUCTURADA	24
TABLA 5: DIMENSIONES DE LA ANTENA CON FILTROS REESTRUCTURADA.....	25

1 Introducción

1.1 Motivación

Hoy en día, las comunicaciones son un factor muy importante a la hora de unir a las personas y mantenernos conectados los unos con los otros.

Por esta razón, los dispositivos y la tecnología que hacen posible esta comunicación están constantemente optimizándose para aumentar al máximo sus prestaciones con el fin de cubrir la demanda de sus usuarios.

Esto ha dado lugar a numerosas tecnologías, entre ellas Ultra Wide Band (UWB), con las que se pretende conseguir un transmisor y un receptor inalámbrico lo más discreto posible, con un bajo consumo de potencia, una bajo coste y una alta tasa de transmisión.

Con esta tecnología se pretenden solucionar las limitaciones de algunas de las redes de área local más utilizadas hoy en día (Wi-Fi y Bluetooth) como la autonomía de funcionamiento, la seguridad y la baja velocidad de transmisión.

UWB permite la interconexión de todo tipo de dispositivos en redes de área personal, haciendo que puedan compartir entre sí datos, video, audio y voz entre ellos.

Esta tecnología ha sido probada en varias aplicaciones relacionadas con radares, detección y comunicaciones militares.

Las mejoras proporcionadas por UWB podrían hacer que algunas tecnologías actuales como Bluetooth, o incluso los puertos USB y FireWire acaben siendo sustituidas.

Con este TFG se pretende propiciar el uso de esta tecnología en aplicaciones del ámbito civil.

1.2 Objetivos

En este trabajo se pretende diseñar antenas de usuario con un ancho de banda tal que pueda darse servicio a los sistemas que se han mencionado con anterioridad.

Las antenas de equipos UWB deben cubrir la banda de 3.1 GHz a 10.6 GHz.

Estas antenas cubren una banda muy extensa, por lo que pueden tener problemas de interferencias con otros equipos, como por ejemplo Wi-Fi y WiMAX. Por ello es necesario integrar elementos de rechazo hacia las bandas que sean potencialmente más dañinas sobre el sistema deseado.

Debido a las características de integración requeridas, se hace necesario incluir estructuras de filtrado incorporadas a la antena.

En este aspecto, es interesante la fabricación de este tipo de antenas mediante tecnología impresa, que está muy extendida debido a su bajo coste de fabricación, repetitividad y perfil plano.

Por lo tanto, las antenas fabricadas de este modo son idóneas para incluirse en todo tipo de estructuras y para su utilización como antena de terminal de usuario (muy compactas y de bajo coste).

Los objetivos son los siguientes:

- Diseño de nuevos elementos UWB, que deben cubrir la banda de 3.1 GHz a 10.6 GHz ya que es la banda asignada para este sistema en EE.UU y en Europa. Para la simulación de dichos elementos se utiliza software comercial específico de antenas.
- Inserción de filtros de banda eliminada en las antenas iniciales para evitar Interferencias de otros sistemas inalámbricos.
- Construcción de los prototipos diseñados en el Laboratorio de Circuitos Impresos de la Escuela Politécnica Superior (EPS) de la Universidad Autónoma de Madrid (UAM).
- Medida de las características radioeléctricas de la antena utilizando el Analizador de Redes, propiedad del grupo de investigación RFCAS.

1.3 Organización de la memoria

La memoria consta de los siguientes capítulos:

- En el capítulo 2 se hace referencia a los fundamentos teóricos de antenas, dónde se detallan los parámetros utilizados en este PFC.
- En el capítulo 3 se describe la tecnología UWB haciendo hincapié en sus características técnicas. Además, se detallan las aplicaciones que pueden hacer uso del sistema y las ventajas e inconvenientes de la tecnología.
- En el capítulo 4 se tratan aspectos teóricos y prácticos relativos al diseño de las antenas.
- En el capítulo 5 se engloba el trabajo principal del presente proyecto, es decir, el diseño de los elementos unitarios UWB así como la inserción de los filtros para evitar interferencias de otros sistemas inalámbricos que operan en la misma banda.
- En el capítulo 6 se diseñan antenas con diversidad de polarización formadas por dos de los elementos unitarios del capítulo anterior.
- En el capítulo 7 se muestran los resultados de las medidas de las antenas construidas y se comparan con las simulaciones de los capítulos anteriores.
- En el capítulo 8 se exponen las conclusiones obtenidas a lo largo de las etapas de diseño y fabricación de este TFG así como posibles mejoras y líneas de trabajo futuro.

2 Fundamentos teóricos de antenas

2.1 Introducción

Las primeras comunicaciones mediante métodos eléctricos no comenzaron hasta la llegada de la telegrafía en 1844, seguida de la telefonía en 1878. En estos sistemas, las señales eléctricas se enviaban sobre líneas bifilares que conectaban el emisor con el receptor.

2.2 Definición

El Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE) define una antena como aquella parte de un sistema transmisor o receptor diseñado específicamente para radiar o recibir ondas electromagnéticas.

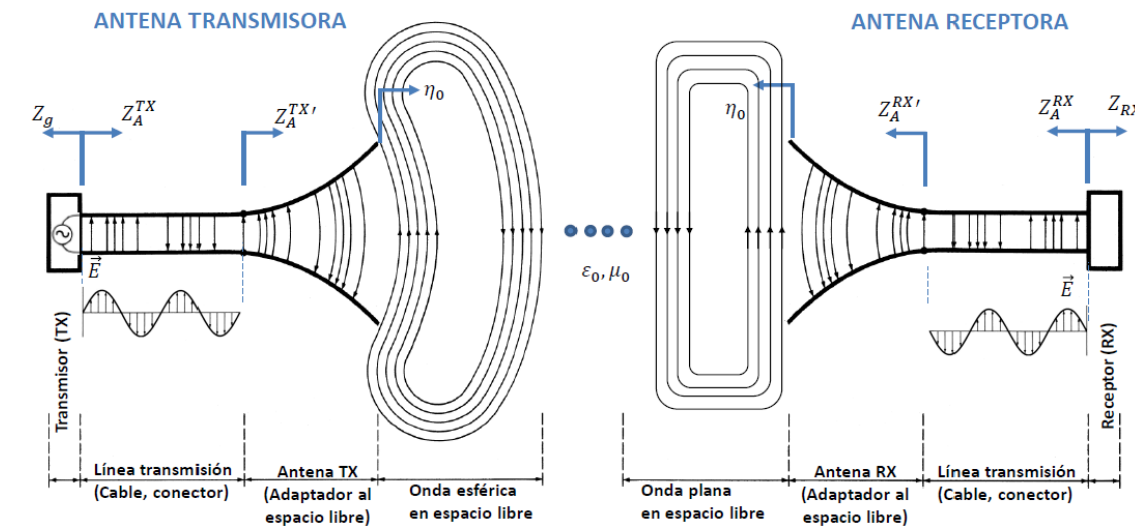


Figura 2-1: Esquema de antena

La misión de la antena es radiar la potencia que se le suministra con las características de direccionalidad adecuadas a la aplicación. Dependiendo del sistema para el que esté diseñada, la antena radiará en todas direcciones (omnidireccional) como las usadas en radiodifusión, o en una dirección concreta (directiva) como en los radioenlaces.

La relación entre sus dimensiones y la longitud de onda determina varios tipos de antenas: La antena es elemental si sus dimensiones son mucho más pequeñas que la longitud de onda. Si las dimensiones son del orden de media longitud de onda será resonante y por último si su tamaño es mucho mayor que la longitud de onda será directiva.

2.3 Parámetros Básicos

2.3.1 Parámetros S

Las antenas, como circuitos de microondas que son, pueden caracterizarse también como una red de dos puertos, donde uno de ellos es el puerto físico de entrada de la antena (típicamente de valor 50) y el otro es un puerto físico de radiación.



Figura 2-2: Esquema de red de dos puertos

Los parámetros S (válidos a cualquier frecuencia), se basan en los niveles de potencia que se perciben en los terminales de los dos puertos sin ningún tipo de consideración adicional. Por ello suelen utilizarse frente a las matrices de impedancia (Z) y admitancia (Y) que relacionan magnitudes de tensión y corriente y para su obtención hace falta considerar circuitos abiertos o cortocircuitos en sus puertos, hecho bastante difícil de conseguir a altas frecuencias.

En el caso de un circuito de dos puertos existen cuatro parámetros S y las relaciones entre sus ondas incidentes y reflejadas están definidas de la siguiente forma:

$$\begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} S_{11} & S_{12} \\ S_{21} & S_{22} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} a_1 \\ a_2 \end{pmatrix}$$

A continuación se presenta una tabla con el significado de cada parámetro S de una red de dos puertos:

Tabla 1: Parámetros S de una red de dos puertos

PARÁMETRO	NOMBRE	DESCRIPCIÓN	FÓRMULA
S_{11}	Reflexión a la entrada	Cantidad de potencia reflejada en el puerto 1 cuando se genera una onda incidente en dicho puerto.	$S_{11} = \left. \frac{b_1}{a_1} \right _{a_2=0}$
S_{12}	Transmisión o ganancia inversa	Cantidad de potencia que llega al puerto 1 alimentando la red por el puerto 2.	$S_{12} = \left. \frac{b_1}{a_2} \right _{a_1=0}$
S_{21}	Transmisión o ganancia directa	Cantidad de potencia que llega al puerto 2 cuando se alimenta la red por dicho puerto.	$S_{21} = \left. \frac{b_2}{a_1} \right _{a_2=0}$

S_{22}	Reflexión a la salida	Cantidad de potencia que se refleja en el puerto 2 cuando se genera una onda incidente en dicho puerto.	$S_{22} = \left. \frac{b_2}{a_2} \right _{a_1=0}$
----------	-----------------------	---	---

2.3.2 Adaptación

Una antena estará unida a un transmisor o a un receptor mediante una línea de transmisión, como podemos ver en la figura (). En ella se presenta una línea de transmisión de impedancia característica Z_0 que conecta una fuente de impedancia $Z_g = R_g + jX_g$ y una antena con una impedancia de carga $Z_A = (R_L + R_r) + jX_A$. La impedancia vista desde el generador puede describirse como $Z_{in} = R_{in} + jX_{in}$.

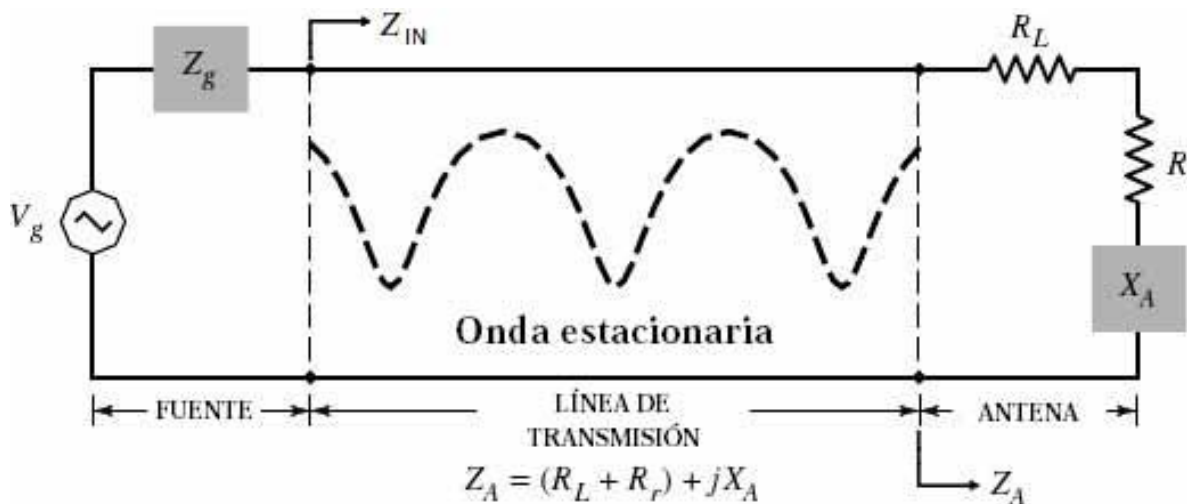


Figura 2-3: Esquema de antena conectada a un generador mediante una línea de tx

Como ya hemos visto en el apartado 2.3.1 el parámetro S_{11} , también llamado coeficiente de reflexión Γ mide la transferencia de potencia desde el generador a la antena. El parámetro puede definirse en término de impedancia como:

$$\Gamma = \frac{Z_A - Z_0}{Z_A + Z_0}$$

Donde Z_0 es la impedancia característica de la línea de transmisión y Z_A es la impedancia de entrada de la antena.

2.3.3 Polarización

Como ya hemos visto, una antena está diseñada específicamente para radiar o recibir ondas electromagnéticas.

Por tanto, en cada punto del espacio existirá un vector de campo $\vec{E}(\vec{r}, t)$ que dependerá de la posición y del tiempo.

La polarización viene definida por la trayectoria que describe el campo eléctrico

2.3.4 Ancho de banda

Debido a la geometría finita de las antenas, éstas están limitadas a funcionar en un rango de frecuencias delimitado. Es decir, se puede definir el ancho de banda (BW) como la relación entre el margen de frecuencias y la frecuencia central en que se cumplen las especificaciones deseadas. Este parámetro se suele expresar en forma de porcentaje:

$$BW = \frac{f_{max} - f_{min}}{f_c} \cdot 100$$

Donde f_{max} y f_{min} son las frecuencias máxima y mínima que delimitan el ancho de banda y f_c es la frecuencia central.

2.4 Banda de frecuencias

Dentro de las microondas existe una división del espectro en bandas de frecuencia que se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 2: Banda de frecuencias en el rango de las microondas

BANDA	FRECUENCIA
L	1-2 GHz
S	2-4 GHz
C	4-8 GHz
X	8-12.4 GHz
Ku	12.4-18 GHz
K	18-26.5 GHz
Ka	26.5-40 GHz
Mm	30-300 GHz

Las ondas con frecuencias comprendidas entre 30 y 300 GHz, equivalentes a longitudes de onda de 1 a 10 mm, son también denominadas ondas milimétricas.

2.5 Teoría microstrip

2.5.1 Concepto y características

La línea microstrip es un tipo de línea de transmisión que se utiliza para transmitir señales de microondas. Consiste en una pista conductora de espesor t y anchura w (tira metálica muy fina respecto a longitud de onda que se propaga por ella,) colocada en un lado de un sustrato dieléctrico, que tiene un plano de masa en el otro lado.

El sustrato tiene una altura h y constante dieléctrica ϵ_r .

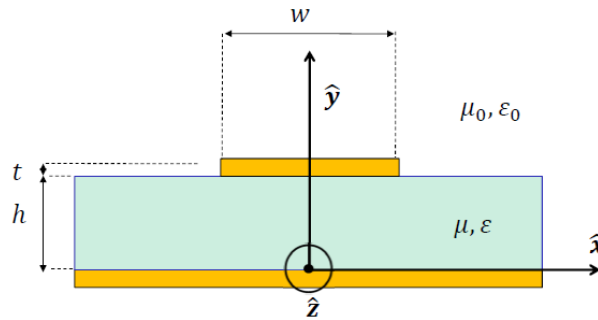


Figura 2-4: Estructura de línea microstrip

Una ventaja importante de utilizar esta línea es que las longitudes se reducen considerablemente comparadas con sus valores en el espacio libre debido al confinamiento de campos en el sustrato. Otra ventaja es que son mucho más baratas que la tecnología de guía de onda. Pueden ser construidas utilizando placas de circuito impreso (PCB) con materiales de bajo coste. Sin embargo, tienen poca capacidad para el manejo de energía y, normalmente, tienen mayores pérdidas que la tecnología tradicional.

2.5.2 Constante dieléctrica efectiva y longitud de onda

La presencia de dos dieléctricos (el aire y el sustrato) hace que la tecnología microstrip cuente con una constante dieléctrica efectiva ϵ_{refec} que se calcula de la siguiente manera:

$$\epsilon_{refec} = \begin{cases} \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \cdot \left[\left(1 + 12 \frac{h}{W} \right)^{-0.5} + 0.04 \left(1 - \frac{W}{h} \right)^2 \right]; & \frac{W}{h} \leq 1 \\ \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \cdot \left(1 + 12 \frac{h}{W} \right)^{-0.5}; & \frac{W}{h} > 1 \end{cases}$$

Una vez que se ha determinado la constante dieléctrica efectiva, se puede obtener la longitud de onda de la línea microstrip, $\lambda_{\mu strip}$:

$$\lambda_{\mu strip} = \frac{\lambda_0}{\epsilon_{refec}}$$

2.5.3 Alimentación microstrip

Una línea microstrip puede ser alimentada de diversas maneras por medio de conectores coaxiales (horizontal y vertical), aquí nos centraremos en el caso de alimentación horizontal.

- **Sonda coaxial horizontal:** Basta con conectar el conductor externo del coaxial al plano de masa y colocar el alma sobre la pista microstrip. Se trata de una transición de alimentación muy sencilla de construir. Sin embargo, puede provocar muchas pérdidas por radiaciones inesperadas hacia el exterior en aplicaciones de alta frecuencia al encontrarse el alma del conector desprotegida. Éste es el tipo de alimentación que se utilizará para las antenas de este TFG.

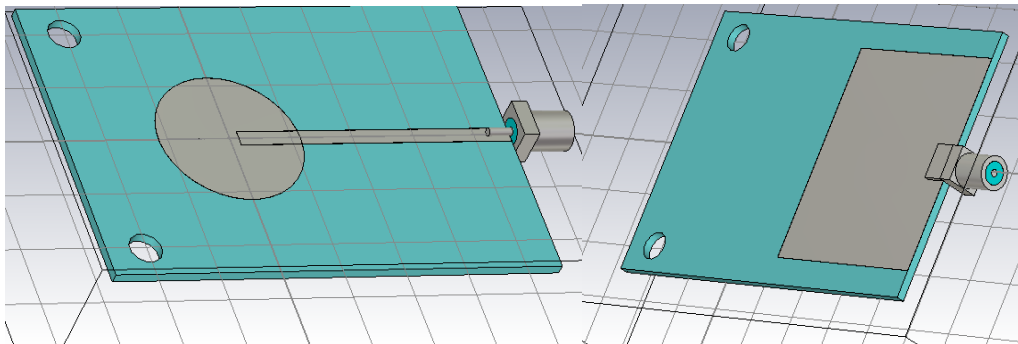


Figura 2-5: Alimentación por conector coaxial horizontal de la línea

3 Tecnología UWB

3.1 Introducción

En febrero de 2002 comienza un especial interés en este tipo de tecnología cuando la FCC emitió una resolución que permitía el uso de UWB para comunicaciones de datos en el ámbito civil, fijando una banda que se extiende desde 3.1 GHz hasta los 10.6 GHz con una densidad espectral de potencia de emisión máxima de -41.3 dBm/MHz. Sin embargo, según la FCC cualquier señal que ocupe al menos 500 MHz de espectro puede ser utilizada en este tipo de sistemas. Esto significa que UWB no está restringido a impulsos de radio, aplica también a cualquier tecnología que use estos 500 MHz del espectro y que cumpla el resto de requerimientos de UWB.

Desde entonces, la tecnología UWB ha experimentado un gran avance ya que puede suponer el futuro de comunicaciones inalámbricas con tasas binarias muy altas. Además, es cierto que inicialmente los equipos eran bastante caros debido a la utilización de componentes discretos en los circuitos pero esto ha cambiado radicalmente con la aparición de los circuitos integrados.

La limitación de potencia impuesta por la FCC sobre las especificaciones de UWB hace que el alcance de estos sistemas sea bastante reducido, lo que supone una ventaja cuando lo que se desea es combinar varios radioenlaces en un espacio relativamente pequeño.

En la siguiente figura se presenta una comparativa de los sistemas inalámbricos actuales en la que se analizan dos características fundamentales: velocidad de transmisión y alcance.

3.2 Definición

Según lo establecido por el FCC en el año 2002, cualquier señal que cumpla una de las dos condiciones siguientes forma parte de un sistema UWB:

$$BW > 500 \text{ MHz}$$

$$B_f \geq 0.2$$

Donde B_f se denomina ancho de banda fraccionado y se define como el resultado de la división entre el ancho de banda absoluto (B) y la frecuencia central del intervalo (f_c) según la siguiente ecuación:

$$B_f = \frac{B}{f_c} = \frac{f_H - f_L}{(f_H + f_L)/2}$$

La primera condición hace referencia al ancho de banda absoluto, que debe ser mayor de 500 MHz:

$$B = f_H - f_L > 500\text{MHz}$$

donde f_H y f_L son los límites superior e inferior del rango frecuencial.

La segunda condición hace referencia a que el ancho de banda fraccionado entre puntos a 10 dB ha de ser mayor o igual que el 20%.

3.3 Ventajas de UWB

La tecnología UWB tiene una serie de ventajas alentadoras que hacen que se presente como una de las soluciones más elocuentes para el caso de la banda ancha inalámbrica frente a otras tecnologías.

En primer lugar, se debe hacer referencia al teorema de Shannon-Hartley que generaliza el teorema de Nyquist al caso de un canal de comunicación con ruido aleatorio y que establece que la capacidad de un canal es proporcional al ancho de banda. Puesto que UWB cuenta con una banda muy ancha, puede alcanzar capacidades del orden de cientos de Mbps o incluso varios Gbps en distancias comprendidas entre 1 y 10 metros.

Por otro lado, los sistemas UWB operan a niveles muy bajos de potencia de transmisión. Puesto que estos sistemas presentan una forma de espectro extremadamente ancho (tanto en absoluto como en relativo), la energía de RF se distribuye sobre GHz de espectro. Las señales UWB son vistas por el resto de sistemas como ruido. Es por ello que la interferencia causada sobre otros sistemas inalámbricos no es muy significativa.

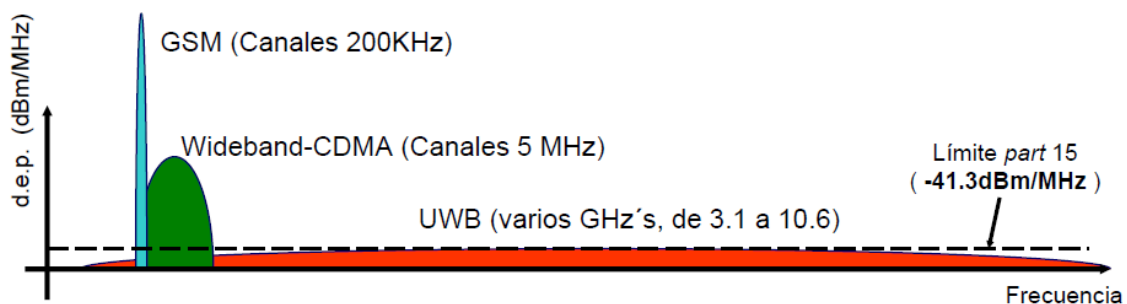


Figura 3-1: Comparativa del espectro de UWB con otras tecnologías

Los sistemas basados en esta tecnología proporcionan soluciones muy seguras y fiables. Además, los sistemas basados en esta tecnología proporcionan soluciones muy seguras y fiables. La interferencia en solo una parte del espectro disminuye la cantidad de señal recibida, pero el pulso (forma determinada de la señal) puede ser todavía recuperado para restablecer la señal ya que el ruido, al tener una forma aleatoria, no puede eliminarlo. Por esta razón, se considera que UWB es una de las tecnologías inalámbricas más seguras que hayan existido.

De este modo, las principales ventajas de UWB se podrían resumir en:

- Altas tasas binarias de transmisión.
- Bajo consumo como emisor de ondas de radio.
- Baja potencia de transmisión, por lo que se utiliza en sistemas de baja probabilidad de intercepción y detección (LPI/LPD).
- Alta resolución temporal y robustez frente al multitrayecto, características idóneas para sistemas de medida de alta resolución.
- Bajo coste de transmisores y receptores, ya que se puede utilizar tecnología CMOS para implementar un dispositivo UWB radio.
- Alta productividad que señala esta tecnología como el futuro de las WPAN.

3.4 Retos tecnológicos

En este apartado se comentan brevemente algunos de los retos tecnológicos de los sistemas de UWB:

- Coexistencia con otros sistemas que operan en la misma banda.
- Diseño de antenas con buena adaptación y eficiencia de radiación.

En este trabajo se tratará de abordar los dos primeros retos diseñando antenas con una buena adaptación a las que se añadirán filtros en la propia estructura para evitar las posibles interferencias con otros sistemas.

4 Criterios de diseño

4.1 Introducción

En este capítulo se tratarán aspectos importantes, teóricos y prácticos, que hay que tener en cuenta a la hora de diseñar las diferentes antenas.

El aspecto más importante es que el espectro principal debe abarcar desde los 3.1 GHz hasta los 10.6 GHz. Además, no debe causar interferencias que obstruyan, degraden o interrumpan un servicio de comunicaciones vía radio.

4.2 Ancho de banda y frecuencias de resonancia

Para buscar información ir a la referencia [4]

4.3 Coexistencia de los distintos servicios

Para buscar información buscar referencia [1]

4.4 Filtros notch

Como se ha comentado en el apartado 4.3, se utilizarán filtros notch insertados en la propia antena para eliminar las bandas propuestas.

Existen varios tipos de filtros según la posición que ocupen en la antena:

- **Internos al parche:** son aquellos filtros realizados mediante slots o ranuras en el parche.

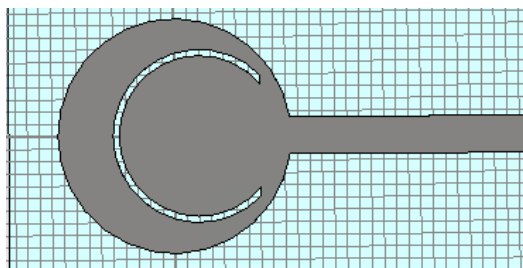


Figura 4-1: Filtro interno al parche

- **Externos al parche:** son aquellos filtros que se obtienen poniendo pistas de cobre en las inmediaciones del parche.

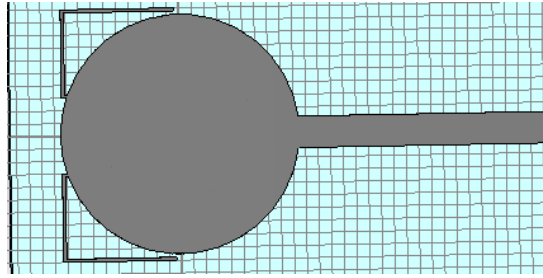


Figura 4-2: Filtro externo al parche

- **Plano de masa:** son filtros formados por slots en el plano de masa.

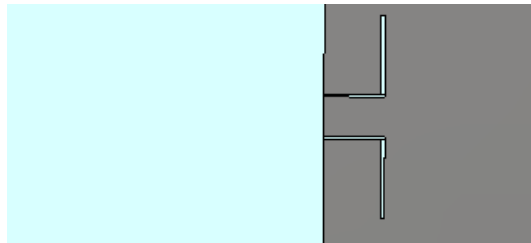


Figura 4-3: Filtro en el plano de masa

- **Línea de alimentación:** son filtros formados por slots en la línea de alimentación.

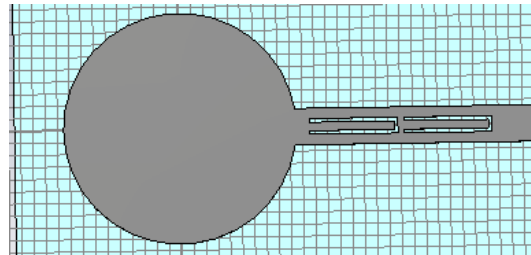


Figura 4-4: Filtro en la línea de alimentación

Además, las ranuras pueden presentar configuraciones muy diferentes: U, L, T, H, formas cuadradas, en pi, anulares, etc.

El objetivo será fundamentalmente conseguir el máximo rechazo posible en la banda citada en 4.3 mediante estructuras simples y compactas.

4.5 Simulación con conector

En este TFG se ha decidido realizar las simulaciones de las antenas en CST STUDIO SUITE 2010 teniendo en cuenta el efecto producido por el conector SMA de 50 Ω que irá soldado a la línea de alimentación de la antena.

Es cierto que se genera una pequeña sobrecarga de computación, pero dado que se trata de antenas muy compactas se añadirá en las simulaciones para evitar posibles problemas relacionados con desplazamientos en resonancias de la antena o de los filtros u otro tipo de discordancias entre la antena simulada y la construida.

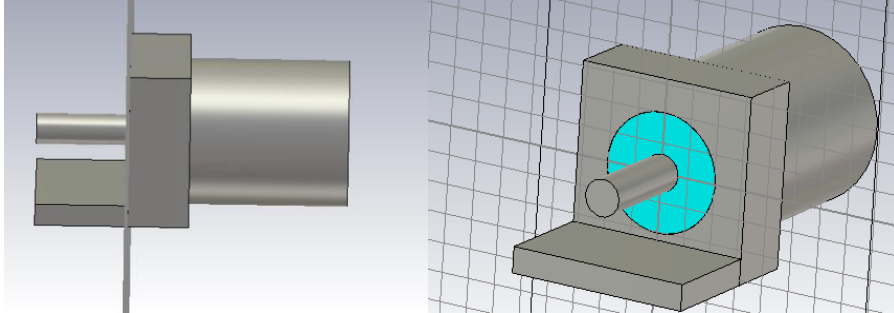


Figura 4-5: Conector SMA dibujado en CST

La ventaja de añadir el conector a la simulación es que el puerto de la simulación está situado sobre dicho conector. En caso de no realizar la simulación con conector, hay que utilizar un puerto ideal de guía en CST y ajustar adecuadamente sus dimensiones para tener la impedancia teórica de la línea de transmisión simulada con otro programa, como por ejemplo ADS.

4.6 Parámetros de los sustratos utilizados

Para el diseño de las antenas de este TFG se ha utilizado el dieléctrico TLY-5A de espesor $H=1.575$ mm, una constante dieléctrica $\epsilon_r=2.17$ y una tangente de pérdidas $\tan\delta=0.0009$.

5 Diseño de elementos UWB

5.1 Introducción

Como se ha comentado anteriormente, en este TFG se procederá al diseño de varios elementos UWB, que constarán de un parche alimentado con una línea microstrip, de tal forma que cumplan con los requisitos impuestos por la FCC. Además, se añadirán filtros notch en la banda que se comentó en 4.3 para evitar la interferencia con otros sistemas que operan en la misma banda. En este capítulo se presentan los diferentes diseños y los resultados de las simulaciones obtenidas.

Se pretende diseñar una antena UWB que presente las siguientes características:

Banda de trabajo mínima de 3.1 GHz a 10.6 GHz para cumplir la normativa de la FCC.

- Un filtro notch que elimine la banda de frecuencias comprendida entre 5 GHz y 6 GHz.
- Un filtro notch que elimine una banda de frecuencias entre 7.3 GHz y 8 GHz.
- Un filtro notch que elimine una banda de frecuencias entre 3.3 GHz y 3.8 GHz.

Inicialmente, se ha diseñado una antena que cumpla el requisito de ancho de banda y después, se le han añadido los filtros notch hasta llegar al prototipo final.

5.2 Antenas sin conector

Primero centraremos el desarrollo de las antenas sin el uso del conector, para después ver el impacto que tiene sobre las antenas.

5.2.1 Antena circular sin filtros

Partimos de un monopolo circular tal como se muestra en la siguiente figura:

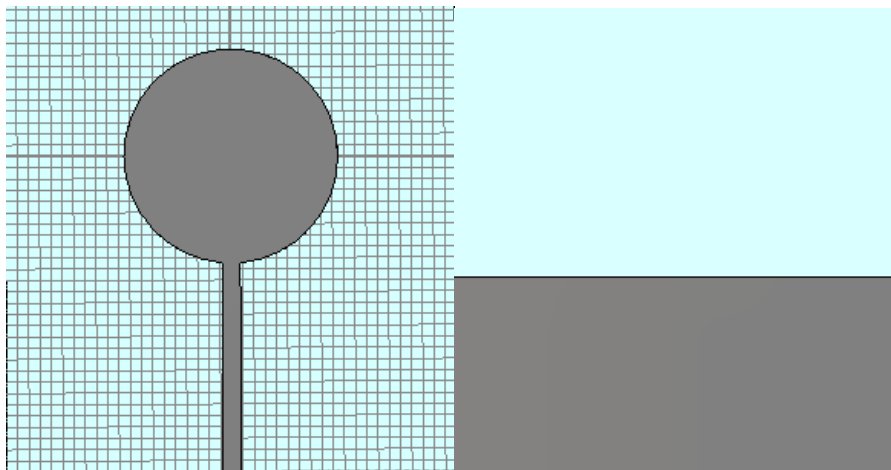


Figura 5-1: Esquema de antena circular sin filtros

Como se ha comentado, la antena se ha impreso sobre un sustrato de constante dieléctrica ϵ_r 2.17 y espesor 1.575 mm.

Sus dimensiones son:

Radio: 9.5 mm Longitud de pista: 18.5 mm Ancho del conjunto: 40 mm

Largo del conjunto: 40 mm

Al tratarse de un monopolo, si se quiere tener una resonancia en una determinada frecuencia, la dimensión del parche debe ser aproximadamente $\lambda/4$

$$L_e \approx \frac{\lambda_0}{4} = \frac{c}{4f_{res}}$$

Aunque la longitud efectiva será algo menor debido a la constante dieléctrica efectiva (ϵ_e):

$$L_e \approx \frac{\lambda_0}{4} = \frac{c}{4f_{res}\sqrt{\epsilon_e}}$$

El valor exacto de la constante dieléctrica efectiva depende de varios factores, tales como la forma del parche o el tamaño del sustrato, entre otros. Lo que sí se puede asegurar, es que dicho valor no es ni 1 (como la constante dieléctrica del aire) ni el valor de la constante dieléctrica del sustrato (en este caso 2.17) sobre el que se diseña la antena. Este comportamiento implica el uso de un software para evaluar el coeficiente de reflexión de las antenas de una forma precisa y no mediante fórmulas simples, que solamente sirven para obtener un valor inicial y posteriormente optimizarlo.

Por lo tanto, las resonancias obtenidas se encontrarán en frecuencias inferiores a las que se obtienen con el cálculo simplista de un monopolo de longitud $\lambda/4$ y constante dieléctrica $\epsilon_e = 1$.

A continuación se muestra el coeficiente de reflexión que nos proporciona la simulación para esta antena:

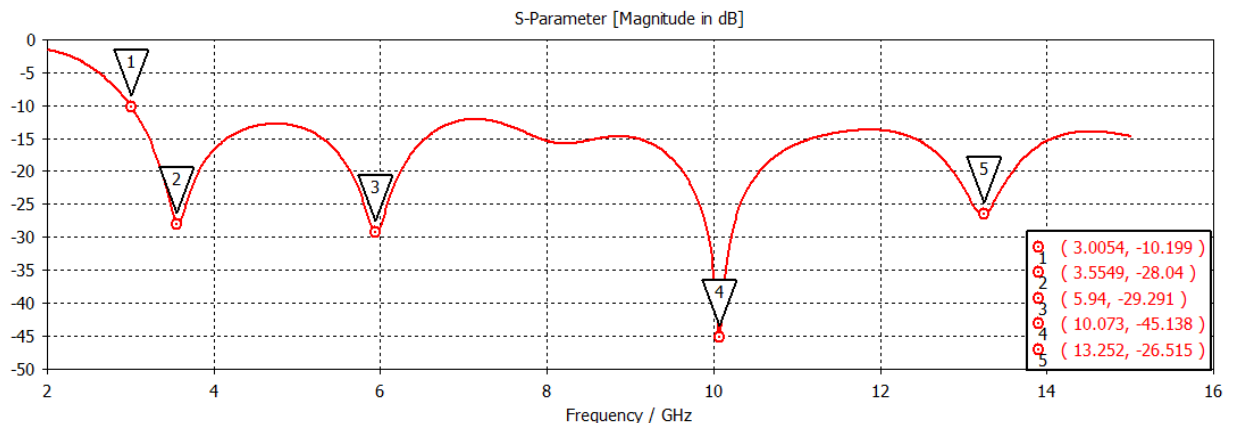


Figura 5-2: Coeficiente de reflexión de la antena circular sin filtros

En la figura se puede observar que el ancho de banda está comprendido entre 3 y para frecuencias de más de 15 GHz, cumpliendo así uno de los requisitos de tecnología UWB. Podemos observar resonancias en 3.55 GHz, 5.94 GHz, 10 GHz y 13.252 GHz. Ahora procederemos a añadir los filtros notch para evitar interferencias con otros sistemas en las bandas ya comentadas.

5.2.2 Diseño principal con filtros

A continuación se muestra la antenna con la estructura de los filtros que eliminan las bandas mencionadas anteriormente:

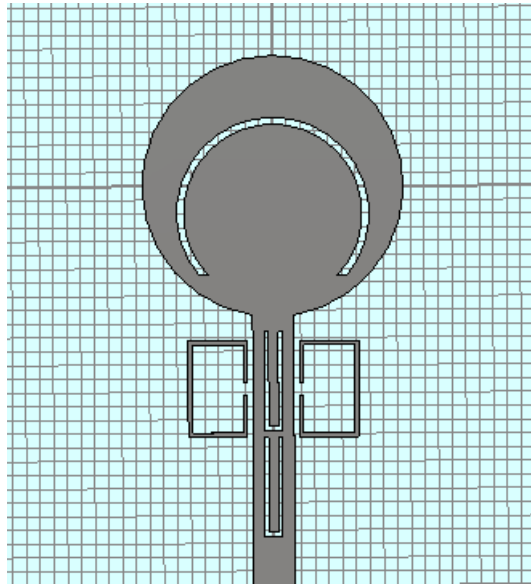


Figura 5-3: Antena circular con filtros

Las longitudes efectivas de los filtros en forma de U y en forma de L deben de ser aproximadamente de media longitud de onda:

$$L_{filtro} \approx \frac{\lambda_0}{2\sqrt{\epsilon_e}} = \frac{c}{2f\sqrt{\epsilon_e}}$$

Esto no es del todo exacto, ya que la forma o anchura de los filtros modifican la longitud eléctrica de los mismos.

Para calcular el valor de ϵ_e hacemos referencia a la ecuación del apartado 2.5.2, donde se definía la constante dieléctrica efectiva de una línea microstrip. En este proyecto, se cumple que $W/h > 1$, por lo que definimos la constante dieléctrica efectiva (ϵ_e) como sigue:

$$\varepsilon_e = \frac{\varepsilon_r + 1}{2} + \frac{\varepsilon_r - 1}{2} \left(1 + 12 \frac{h}{W} \right)^{-0.5}$$

donde h es el espesor del sustrato utilizado, ε_r la constante dieléctrica del mismo y W la anchura del filtro correspondiente en cada caso.

Para eliminar banda de mayor frecuencia se utiliza dos slot en forma de U situado en el interior de la línea de transmisión. Al estar situados uno en una posición diferente al otro esto hace que sus frecuencias de funcionamiento no sean exactamente iguales, lo que provoca su unión en un filtro de mayor ancho de banda.

Al estar insertados como vacío dentro de la línea de transmisión, se puede despreciar el segundo término de la ecuación anterior ya que se considera que no tiene plano de masa detrás. Por lo tanto, su constante dieléctrica efectiva se calcula como:

$$\varepsilon_e = \frac{\varepsilon_r + 1}{2} = \frac{2.17 + 1}{2} = 1.585$$

De esta forma la longitud efectiva del filtro para que resuene a 7.5 GHz es:

$$L_{filtro} \approx \frac{\lambda_0}{2\sqrt{\varepsilon_e}} = \frac{c}{2f\sqrt{\varepsilon_e}} = \frac{3 \cdot 10^8 \frac{m}{s}}{2 \cdot 7.5 \cdot 10^9 GHz \sqrt{1.585}} = 15.88 \text{ mm}$$

Al sumar los parámetros correspondientes de la simulación obtenemos la longitud de 15.64 mm, resultado cercano pero no exacto debido a factores como la anchura y la posición.

Para eliminar una banda de frecuencias intermedia se necesitará un filtro de menor longitud que el anterior. En este caso, se utilizan bricks de metal en forma de L próximos a la línea de transmisión. Cuando se utilizan este tipo de filtros hay que tener en cuenta que el espacio que queda entre dichos filtros y la línea de transmisión afecta como si fuera una capacidad extra dando lugar a una frecuencia de resonancia mayor a la que se obtendría con un filtro unido a la línea de transmisión. Por lo tanto, la longitud efectiva de dichos filtros será bastante inferior a la estimada teóricamente.

La constante dieléctrica efectiva de este tipo de filtros se calcula como:

$$\varepsilon_e = \frac{2.17 + 1}{2} + \frac{2.17 - 1}{2} \left(1 + 12 \frac{1.575}{3} \right)^{-0.5} = 1.81$$

De esta forma, la longitud efectiva aproximada del filtro para que resuene a 5.5 GHz es:

$$L_{filtro} \approx \frac{\lambda_0}{2\sqrt{\varepsilon_e}} = \frac{c}{2f\sqrt{\varepsilon_e}} = \frac{3 \cdot 10^8 \frac{m}{s}}{2 \cdot 5.5 \cdot 10^9 GHz \sqrt{1.81}} = 20.27 \text{ mm}$$

Al sumar los parámetros que intervienen en el filtro obtenemos la suma de 21.2 mm, que de nuevo no es exacta debido a su anchura y posición.

Por último se calcula la longitud del filtro que se encuentra en el parche de frecuencia central 3.5 GHz, este caso es similar al del filtro en forma de U, por lo que la ecuación se simplifica y la ecuación para la constante dieléctrica será la misma:

$$\varepsilon_e = \frac{\varepsilon_r + 1}{2} = \frac{2.17 + 1}{2} = 1.585$$

La longitud del filtro será la siguiente:

$$L_{filtro} \approx \frac{\lambda_0}{2\sqrt{\varepsilon_e}} = \frac{c}{2f\sqrt{\varepsilon_e}} = \frac{3 \cdot 10^8 \frac{m}{s}}{2 \cdot 3.5 \cdot 10^9 GHz \sqrt{1.585}} = 34.04 \text{ mm}$$

A continuación se muestra el esquema de la antena y sus medidas:

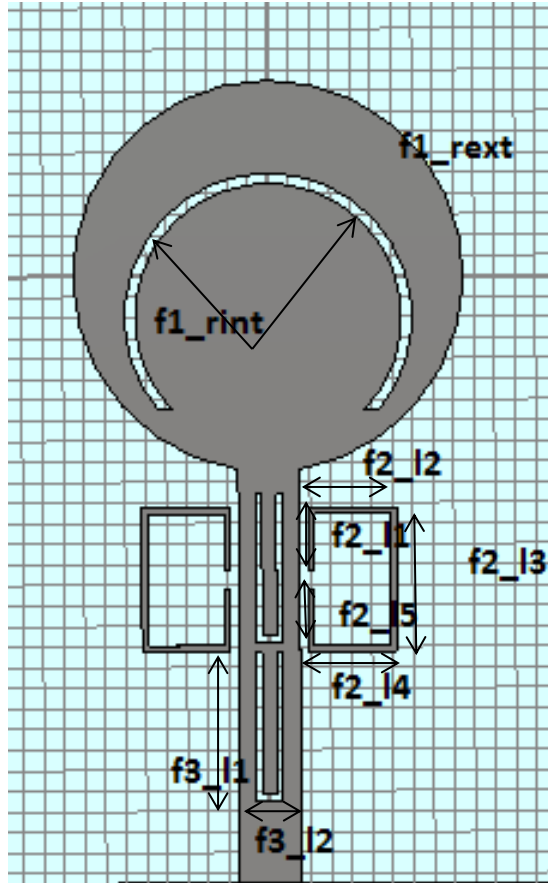


Figura 5-4: Medidas antena circular con filtros

Tabla 3: Medidas antenna circular con filtros

PARÁMETRO	VALOR (mm)
f1_rext	7
f1_rint	6.5
f2_l1	3
f2_l2	4.1
f2_l3	7
f2_l4	4.1
f2_l5	3
f3_l1	7.17
f3_l2	1.3

Se muestra ahora el coeficiente de reflexión en simulación de la anterior antenna:

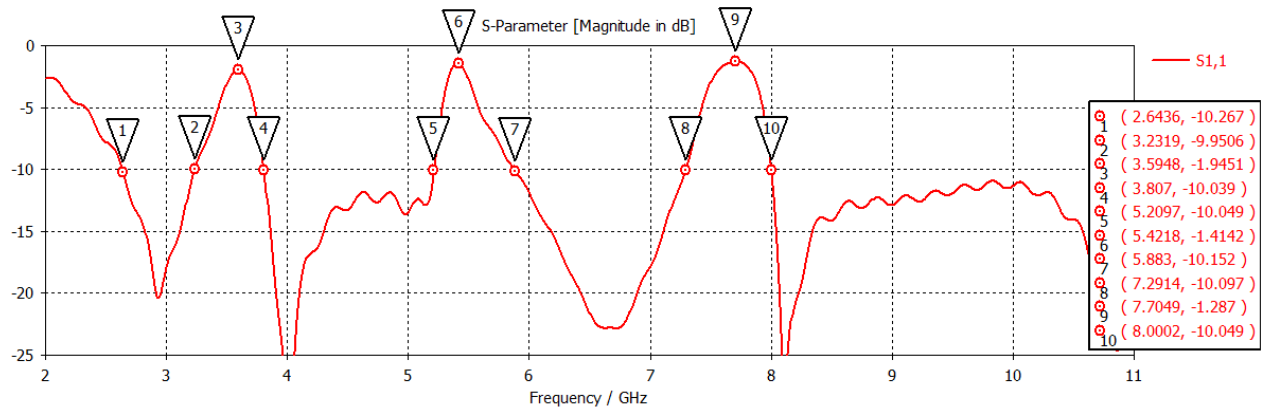


Figura 5-5: Coeficiente de reflexión de antenna circular con filtros

Se puede ver que la banda de trabajo es desde 2.64 GHz a más de 11 GHz, y los respectivos filtros tienen su frecuencia central en 3.59 GHz, 5.42 GHz y 7.7 GHz y todos ellos abarcan las bandas pedidas al comienzo de este apartado.

Esta antenna ha sido construida y medida en la escuela, por lo que en el siguiente capítulo se mostrarán los valores reales comparados con las simulaciones.

5.3 Antenas con conector

Se va a pasar a estudiar el efecto del conector en las diferentes antenas diseñadas en el punto 5.2.

Veremos los cambios que puede producir el conector en los distintos filtros.

5.3.1 Antena circular sin filtros

Añadimos el conector a la antena del apartado 5.2.1 y vemos cuales son los cambios que se producen en su parámetro S11:

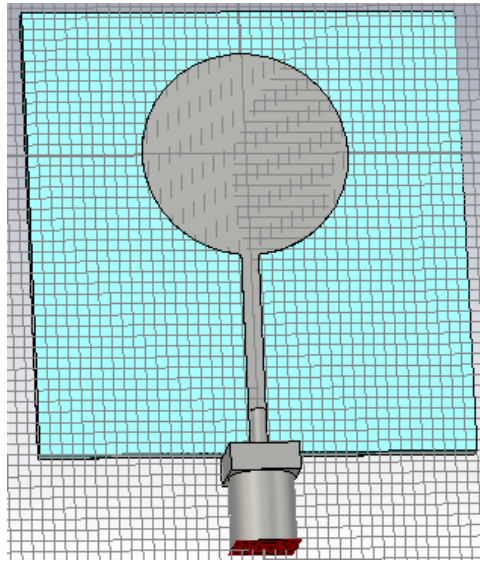


Figura 5-6: Antena circular sin filtros y conector

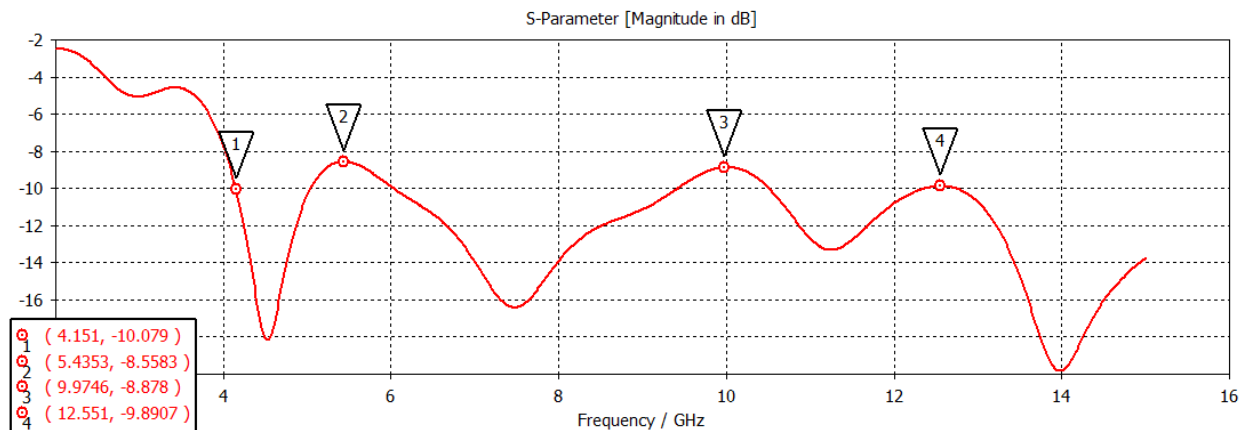


Figura 5-7: Parámetros S de la antena circular con filtros y conector

Como podemos ver, la inserción del conector ha hecho que la banda de trabajo comience en 4.15 GHz en lugar de los 3.1 deseados. Aparte de eso, vemos como hay ciertos puntos de la gráfica en los que se superan los -10dB.

Esto es debido a que la impedancia del conector es de 50 Ω , mientras que la de la antena es de 112 Ω (marcado por el puerto de la simulación del apartado 5.2.1), este cambio brusco

de impedancias tan distantes entre sí es lo que produce que haya mayor reflexión y menor ancho de banda.

Este diseño tiene un problema adicional, y es que al ser la pista tan estrecha se presentan dificultades para soldarla con el conector.

5.3.2 Diseño principal con filtros

Pasamos a estudiar ahora el diseño principal y como afecta el conector a los filtros y a la reflexión en las zonas en las que ésta debería ser baja.

Se recuerda que éste diseño será impreso, con lo que después se podrá comparar el diseño real con los simulados (con y sin conector), para ver si realmente el uso del conector de una aproximación buena con la realidad.

Antes de simular ya nos encontramos con un problema: el filtro inferior con forma de U se acerca demasiado al conector por lo que se opta por acortarle 1 mm para que no estén tan cerca.

Cuando tenga que construirse simplemente se cortará un poco el conector.

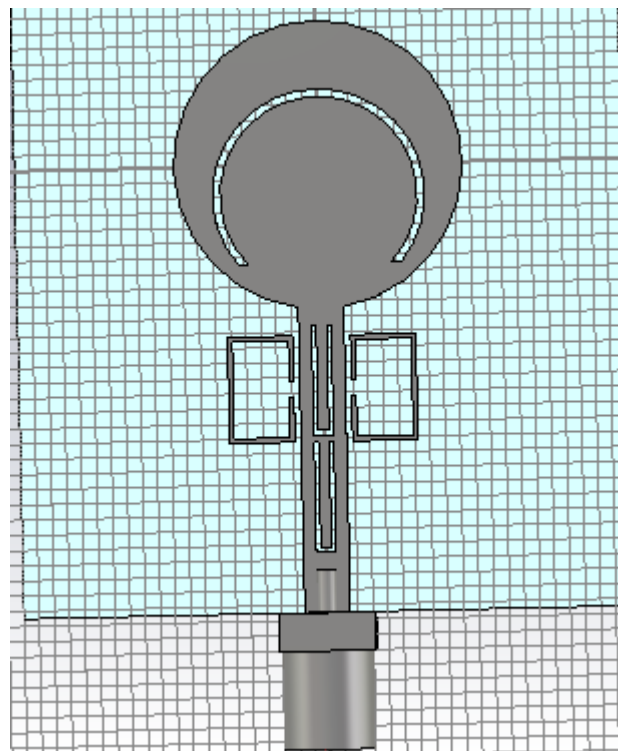


Figura 5-8: Antena circular con filtros y conector

La respuesta que produce su parámetro S_{11} es la siguiente:

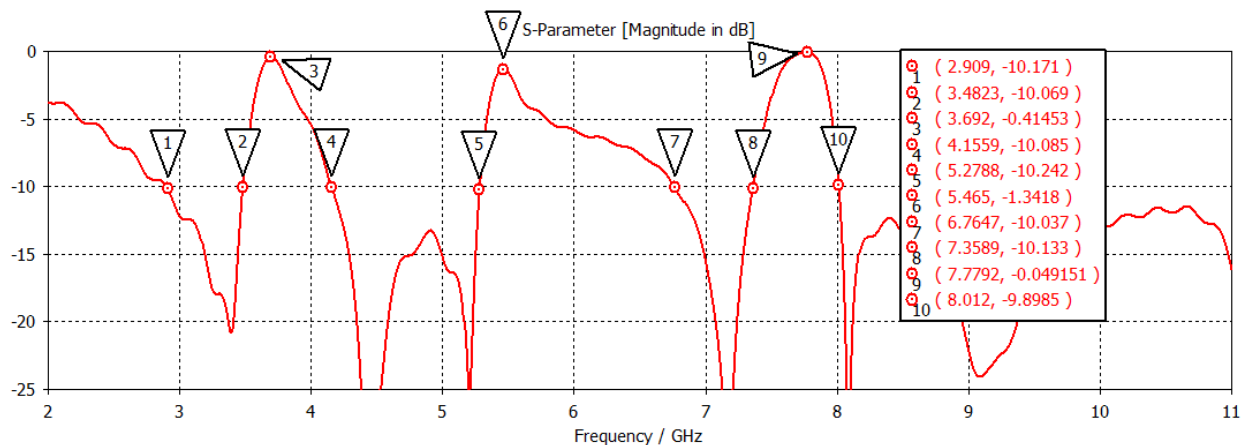


Figura 5-9: Coeficiente de reflexión de la antena circular con filtros y conector

Como puede observarse el primer filtro ha sido desplazado unos 200 MHz, mientras que el último filtro parece haber sido inalterado.

El filtro que más ha sufrido ha sido el central, cuya frecuencia central teórica es de 5.5 GHz, ya que no sólo ha sido desplazado hacia la derecha, sino que también ha aumentado su ancho de banda con un descenso de dB gradual, cosa contraria a la que se busca cuando se diseña un filtro de estas características.

5.4 Reestructuración de los diseños para su impresión

A continuación procedemos a cambiar los diseños de la antena circular sin filtros y la antena circular con filtros para que tengan un buen funcionamiento e intentar que cumplan con los criterios establecidos.

5.4.1 Antena circular sin filtros

Se dispone a cambiar los valores de la antena del apartado 5.2.1 para adaptarla a su uso con el conector, cumpliendo así los requisitos necesarios.

Se cambia el largo de la línea de transmisión, así como su ancho.

También se hace algo mayor el radio de el parche.

Los agujeros no suponen ningún cambio en el diseño, sólo se añaden para su posterior medición en la cámara anecoica si fuera necesario. Por ello también se ha ensanchado un poco el dieléctrico, para poder realizar los correspondientes taladros.

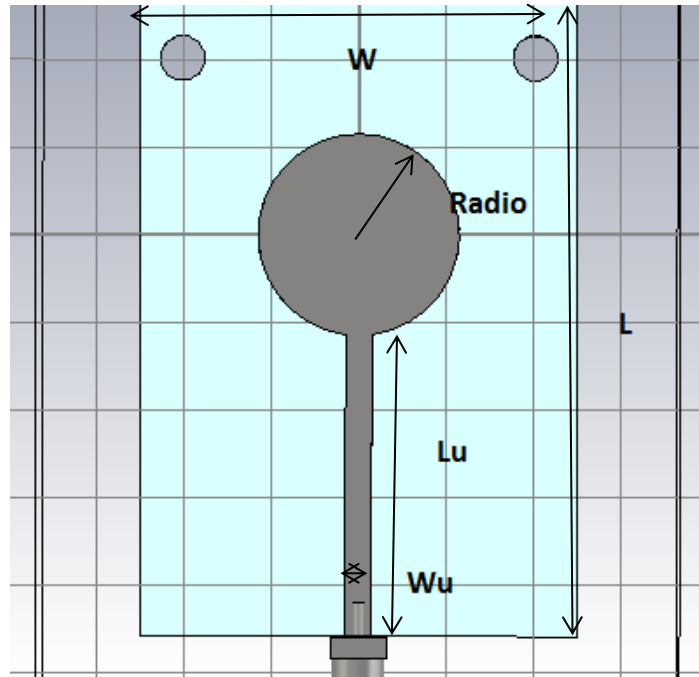


Figura 5-10: Antena circular reestructurada

Las medidas son las siguientes:

Tabla 4: Dimensiones de la antena circular reestructurada

PARÁMETRO	VALOR (mm)
Wu	3
Lu	34.35
Radio	11.5
W	50
L	72.35

El coeficiente de reflexión que produce esta simulación es:

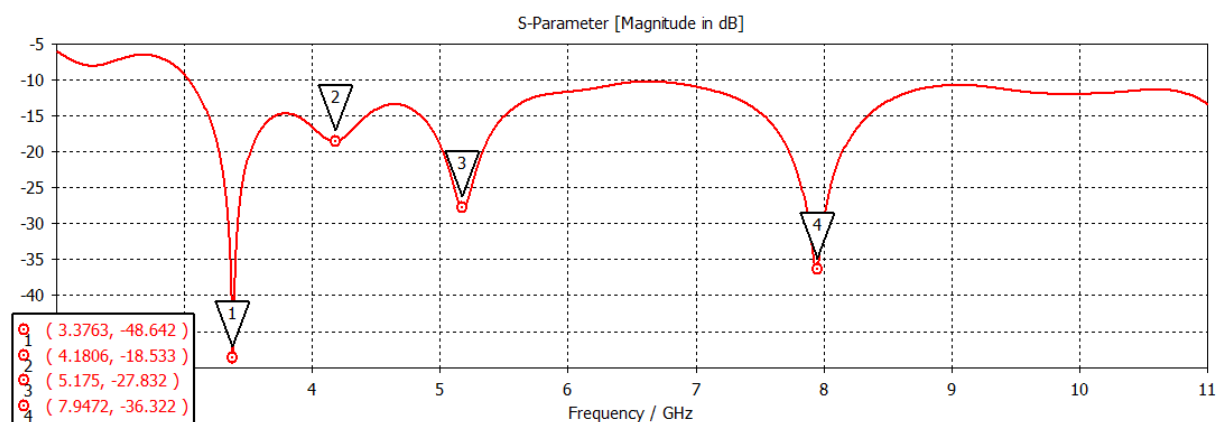


Figura 5-11: Coeficiente de reflexión de La antena circular reestructurada

En la figura se puede observar que el ancho de banda está comprendido entre 3 y para frecuencias de más de 11 GHz, cumpliendo así uno de los requisitos de tecnología UWB. Podemos observar resonancias en 3.37 GHz, 4.18 GHz, 15.17 GHz y 7.94 GHz.

5.4.2 Diseño principal con filtros

Aquí es donde el filtro ha provocado más cambios en la simulación, por lo que ha sido necesaria la reestructuración de algunos filtros.

Tabla 5: Dimensiones de la antena con filtros reestructurada

PARÁMETRO	VALOR (mm)
Radio int	6.5
Radio ext	7
f2_l1	1.7
f2_l2	9.8
f3_l1	4
f3_l2	11

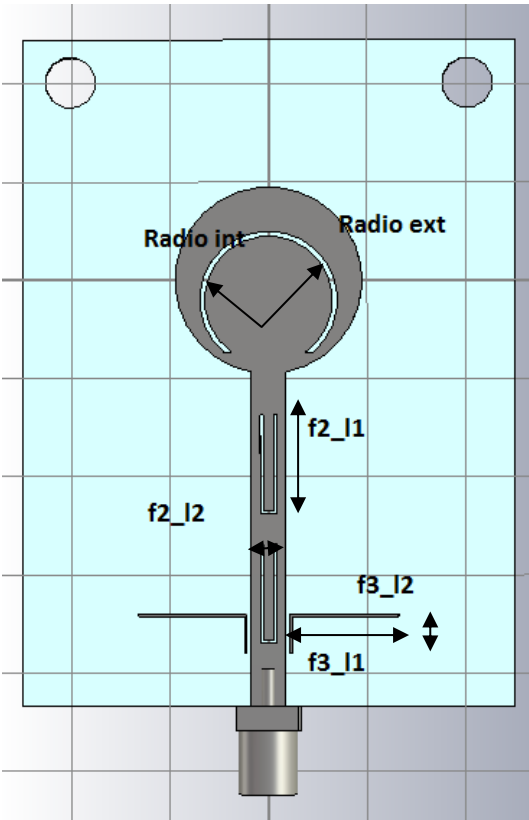


Figura 5-12: Antena con filtros reestructurada

La reestructuración que se ha llevado a cabo es la siguiente:

Con respecto al primer filtro con frecuencia central en 3.5 GHz únicamente ha sido necesario alargar mínimamente la pista para compensar los 200 MHz de desplazamiento a la derecha.

El filtro a 5.5 GHz de frecuencia central no mostraba ningún posible buen funcionamiento, por lo que ha sido eliminado y sustituido por un filtro en forma de U, que alargando un poco hemos pasado de usarlo para 7.5 GHz a usarlo para esta frecuencia.

Por último se han añadido para una frecuencia central de 7.5 GHz 2 bricks que forman una L y están ligeramente separados de la línea de transmisión, por lo que proporcionan una capacitancia.

Como resultado final se obtiene esta reflexión:

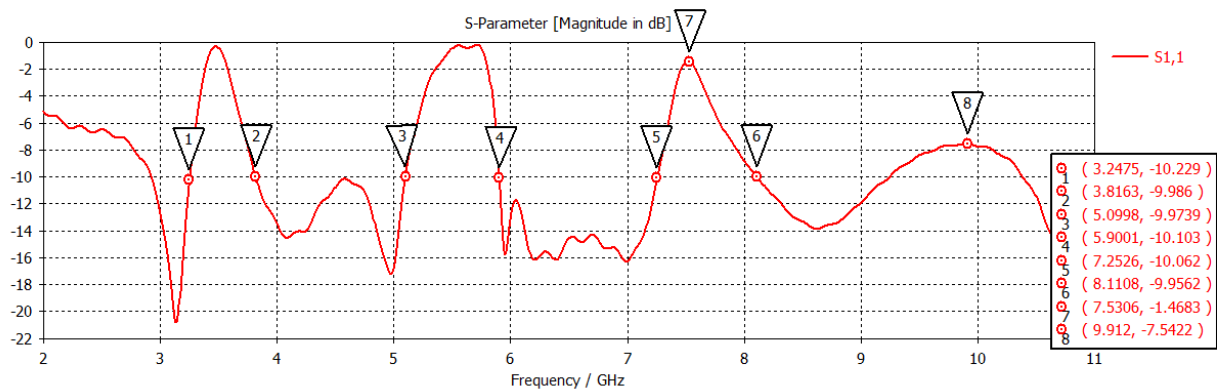


Figura 5-13: Coeficiente de reflexión de la antena con filtros reestructurada

Ahora puede apreciarse como los 3 filtros funcionan correctamente y cumplen abarcando las bandas necesarias.

Podemos ver en el filtro intermedio una pequeña división entre dos máximos, esta es producida por las dos U que se encuentran en la línea de transmisión, y son dos filtros que aunque tengan la misma longitud, por estar en distintas zonas de la línea ocupan diferentes frecuencias, pero al estar lo suficientemente cercanos se superponen.

Cabe destacar el efecto producido en la zona alrededor de los 10 GHz, en el que se ha producido una subida de dB debido al efecto rebote del filtro intermedio, por tener éste valores cercanos a 0 dB y por su anchura. Este efecto se produce aproximadamente al doble de la frecuencia central del filtro que utilizamos.

Esta subida tiene su máximo en -7.5 dB y ha sido imposible de eliminar, ya que es producido por el efecto del filtro intermedio.

6 Diseño de antenas UWB con diversidad de polarización

6.1 Introducción

El objetivo de utilizar antenas UWB con diversidad de polarización es mitigar el efecto del multitrayecto y la difracción que pueden ocasionar cambios en la polarización de la señal transmitida.

Este objetivo se consigue utilizando una antena formada por dos elementos UWB, en el que uno de ellos tiene polarización vertical y el otro, horizontal. La estructura de estas antenas consiste en el diseño de un elemento y posteriormente duplicarlo girándolo 90° con el fin de cumplir el objetivo mencionado.

En este capítulo se muestran los diferentes diseños realizados y los resultados obtenidos en las simulaciones.

Se pretende diseñar una antena UWB formada por dos elementos que presente las siguientes características:

- Polarización vertical para uno de los elementos y polarización horizontal para el otro elemento.
- Banda de trabajo mínima de 3.1 GHz a 10.6 GHz para cumplir la normativa de la FCC.
- Filtros notch que eliminen la banda de frecuencias comprendida entre 3.3 y 3.8 GHz, 5.2 GHz y 5.9 GHz y 7.3 y 8 GHz.

6.2 Antena con filtros sin conductor intermedio

Al colocar 2 antenas tan próximas se puede producir un efecto de acoplamiento de las unas sobre las otras (parámetro S_{21}), para evitar esto una opción es colocar un conductor entre ambas antenas.

Se considera que dos antenas no han sido interferidas por otra cuando su parámetro S_{21} es menor de -15 dB en la banda deseada.

Se ha decidido unir los planos de masa de las antenas de forma que sean sólo uno.

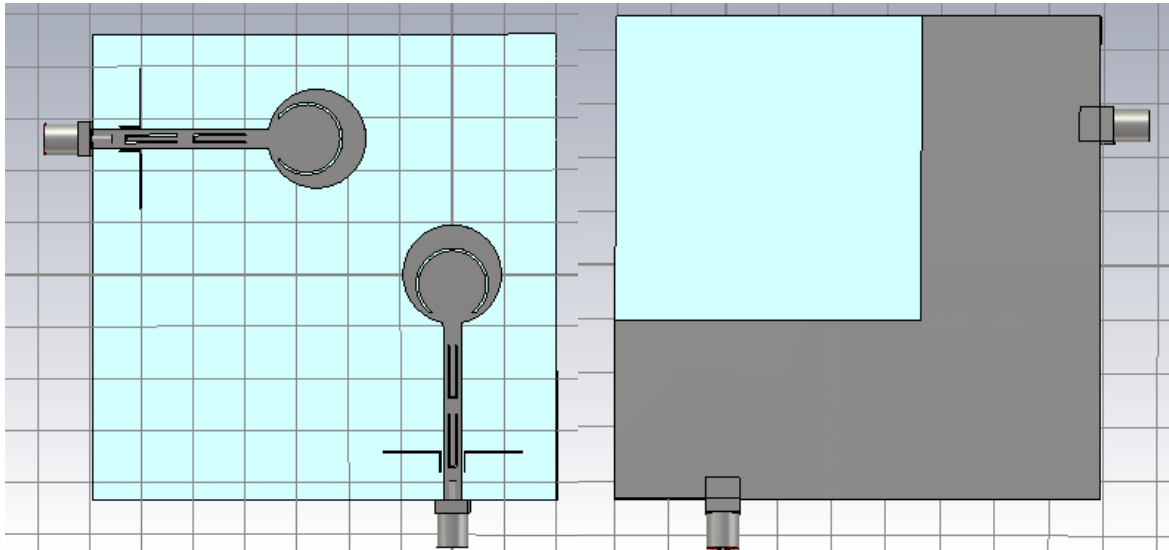


Figura 6-1: Esquema de la antena sin conductor intermedio

Esta antena está formada por dos elementos con filtros UWB situados de forma perpendicular para conseguir los objetivos de la diversidad de polarización. Estos elementos con filtros son utilizados en el apartado 5.4.2 con sus mismas dimensiones.

Pasamos a analizar los parámetros S11:

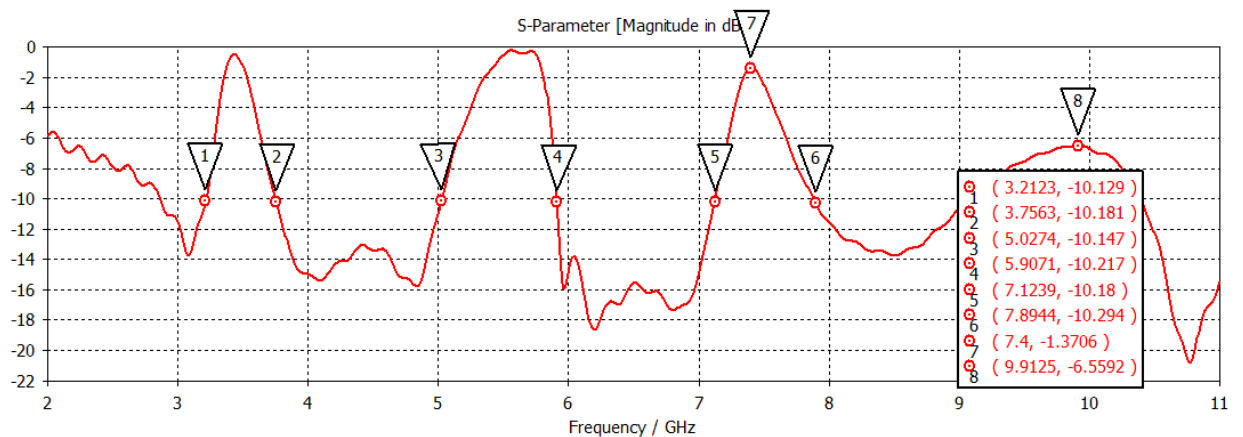


Figura 6-2: Coeficiente de reflexión de la antena sin conductor intermedio

Podemos ver que la respuesta es muy similar a la obtenida en el apartado 5.4.2, quitando que ha subido casi 1 dB el efecto producido por el rebote a 9.9 GHz y que ha desplazado unos 100 MHz el filtro con máximo en 7.4 GHz.

Vamos a ver el acoplamiento producido por una antena sobre la otra:

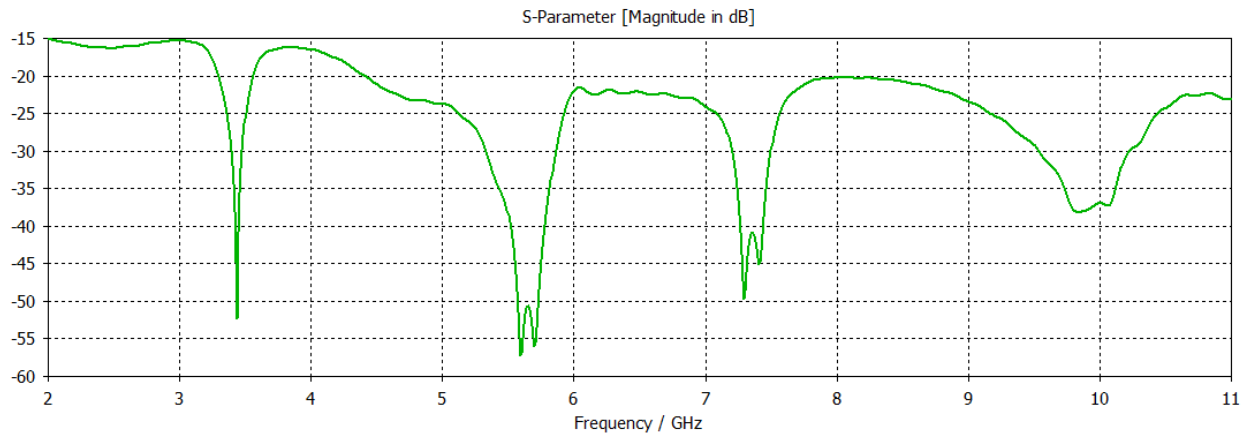


Figura 6-3: Acoplamiento de la antena sin conductor intermedio

6.3 Antena con filtros y conductor intermedio

Vamos a observar si la colocación de un conductor reduce el acoplamiento para la antena deseada.

Para ello comenzamos con la colocación de una recta diagonal entre ambos elementos:

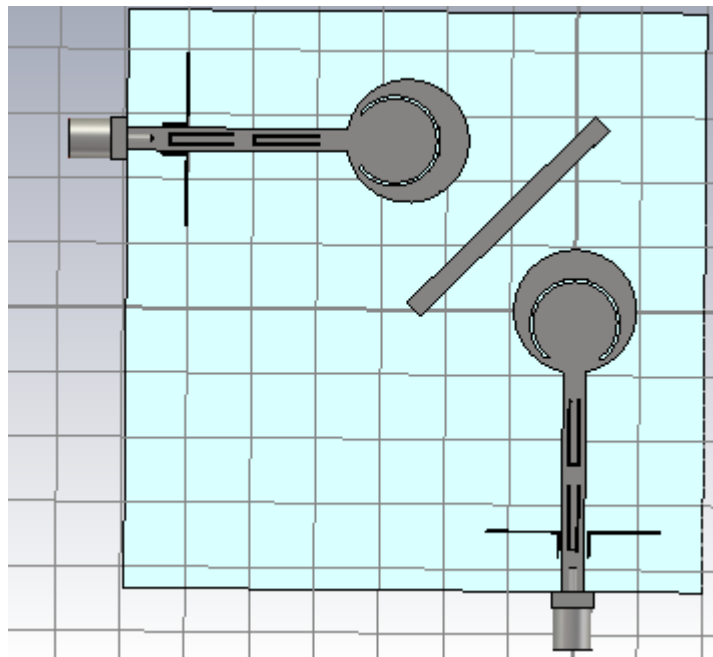


Figura 6-4: Esquema de antena con conductor intermedio

Esta recta tiene una longitud de 41 mm y una anchura de 3 mm y produce los siguientes efectos de reflexión sobre la antena:

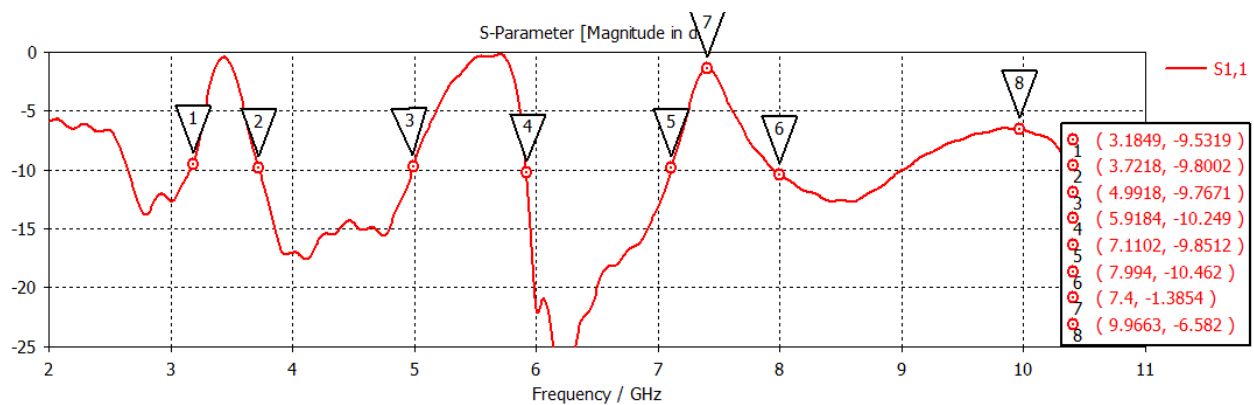


Figura 6-5: Coeficiente de reflexión de la antena con conductor intermedio

Para este caso la reflexión es bastante similar al apartado anterior.
En cuanto al acoplamiento:

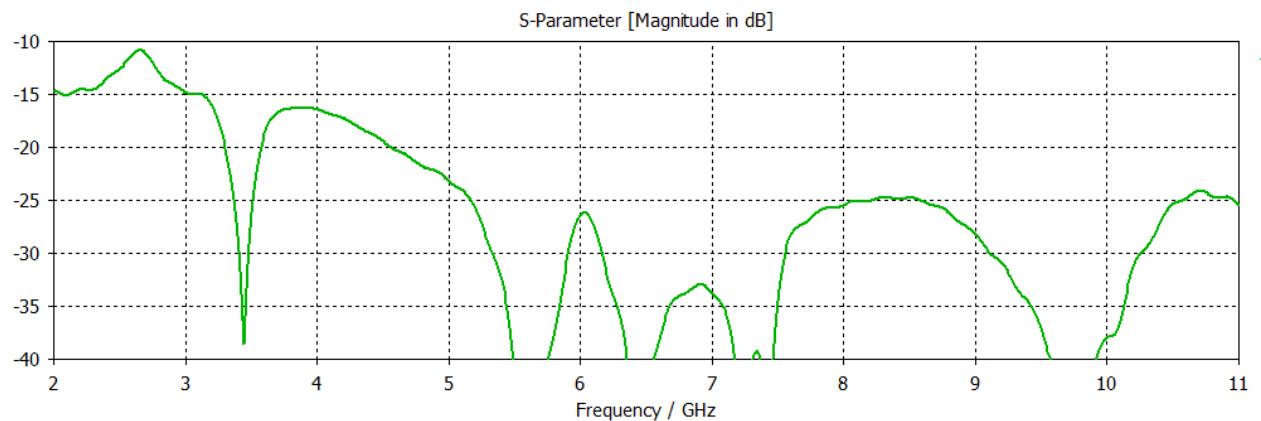


Figura 6-6: Acoplamiento de la antena con conductor intermedio

Podemos ver que tras sobrepasar los 5 GHz el resto se mantiene por debajo de -25 dB, por lo que ha habido una mejora para las frecuencias más altas de la banda que estamos utilizando.

6.4 Antena con filtros y conductor intermedio circular

En este apartado sustituimos el conductor diagonal por dos conductores con forma circular que se tocan entre sí.

El círculo está centrado en el mismo punto que el parche de la antena, su radio interior es de 18 mm y su radio exterior de 19 mm.

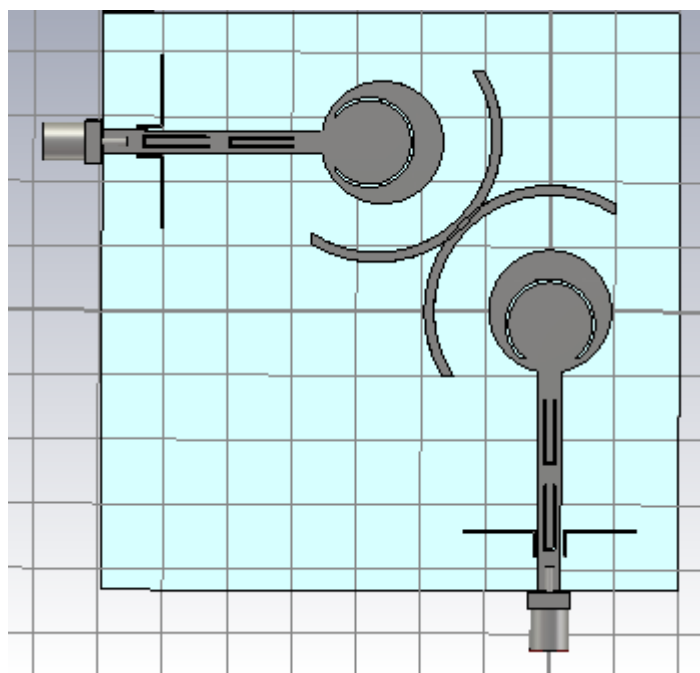


Figura 6-7: Esquema de la antena con conductor intermedio circular

Su parámetro S11 (o S22, ya que son iguales) es el siguiente:

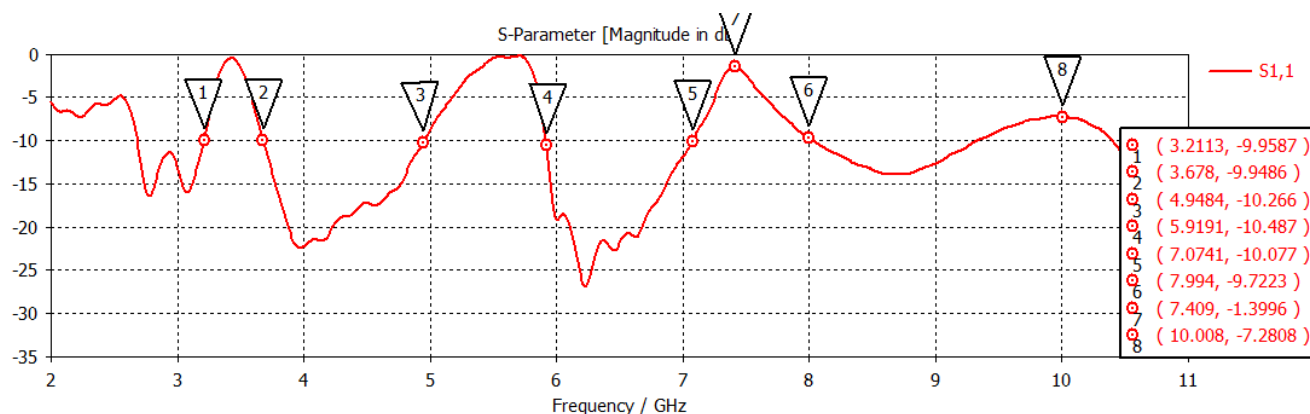


Figura 6-8: Reflexión de la antena con conductor intermedio circular

Vemos que se han desplazado 100 MHz la banda del primer filtro (que se encuentra de 3.2 a 3.67) y se han ensanchado un poco los otros 2 filtros.

También decir que a las frecuencias superiores ha bajado el efecto rebote producido por el segundo filtro hasta los -7.2 dB.

En cuanto al parámetro S21 (o S12):

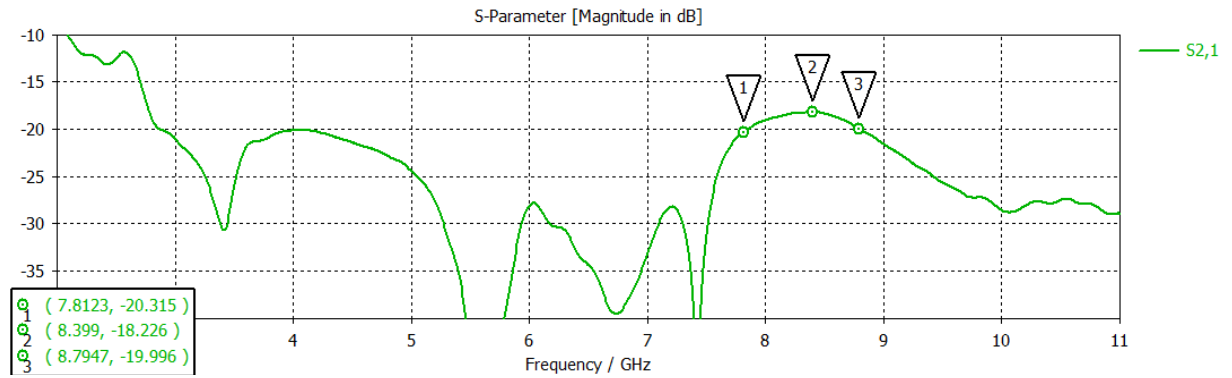


Figura 6-9: Acoplamiento de la antena con conductor intermedio circular

Para frecuencias inferiores vemos que el resultado de acoplamiento ha mejorado encontrándose por debajo de -20 dB en toda la banda hasta llegar a la zona entre 7.8 y 8.7 GHz, que en ningún momento supera los -18 dB.

Esta configuración por tanto hace que casi toda la banda se encuentre por debajo de -20 dB, tanto a frecuencias altas como a frecuencias bajas.

7 Medidas

7.1 Introducción

En este capítulo se muestran las medidas de reflexión de las antenas construidas así como la comparación con los resultados obtenidos en simulación.

Se recuerda de nuevo que han sido tres las antenas que han sido medidas:

- Antena circular sin filtros y conector (apartado 5.4.1)
- Diseño principal con filtros y sin conector (apartado 5.2.2)
- Diseño principal con filtros y conector (apartado 5.4.2)

La construcción de todas las antenas se ha realizado en el Laboratorio de Circuitos Impresos de la Escuela Politécnica Superior de la UAM.

7.2 Antena circular sin filtros y conector

A continuación, se muestra la parte inferior y superior de la antena una vez construida:

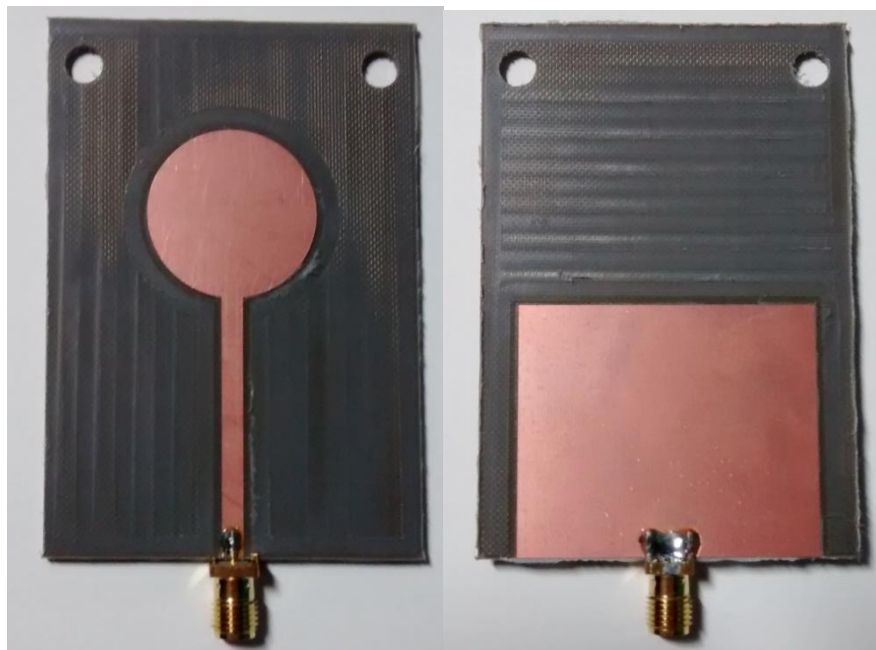


Figura 7-1: Fotografía de antena circular sin filtros

El coeficiente de reflexión de esta antena simulado y medido es el siguiente:

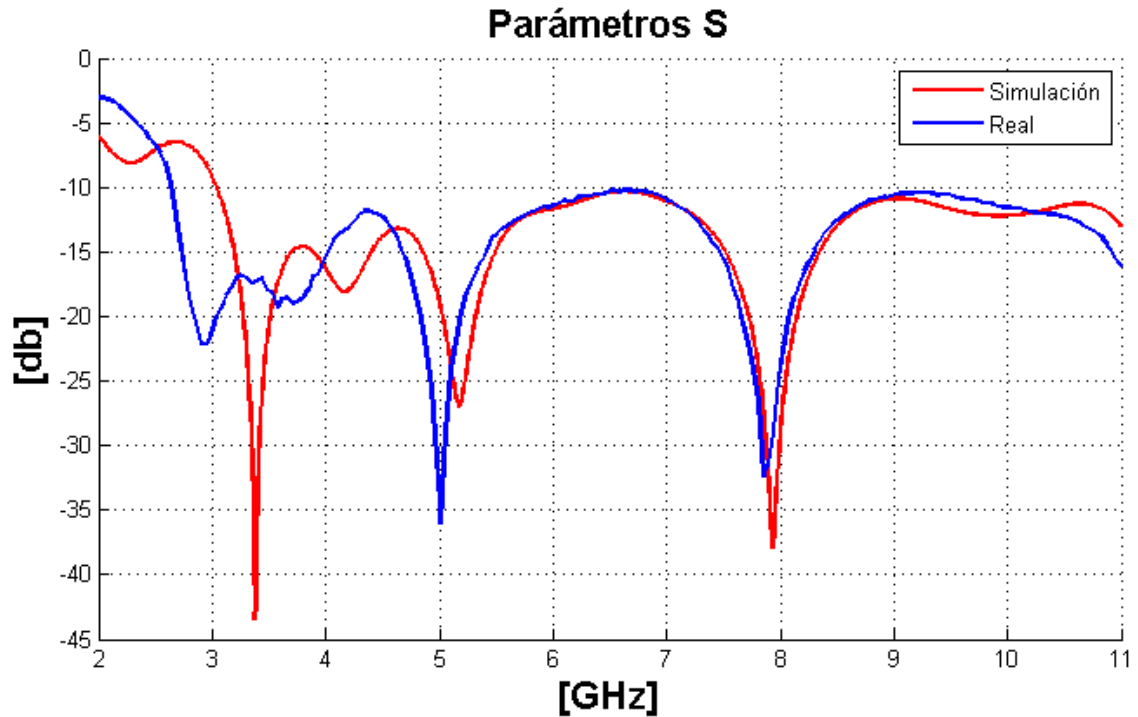


Figura 7-2: Comparación real y simulada de la antena circular sin filtros

Como se puede observar el coeficiente de reflexión medido tiene cierta semejanza con el simulado en toda la banda de trabajo, incluso es algo mayor la banda de trabajo para bajas frecuencias (comienza en 2.65 GHz), por lo que se puede concluir que los resultados son satisfactorios.

7.3 Diseño principal con filtros y sin conector

Vamos a comparar ahora si el uso del conector es realmente necesario a la hora de simular antenas de estas características, para ello comprobaremos primero la respuesta producida por las simulaciones con conector y sin conector (apartados 5.3.2 y 5.2.2), para después pasar a comparar cada uno de los dos casos con la respuesta real de la antena.

La antena impresa tiene la siguiente forma:



Figura 7-3: Fotografía de antena circular con filtros

7.3.1 Comparación de antena con y sin conector (simulación)

Pasamos a ver los parámetros S11 de ambas antenas:

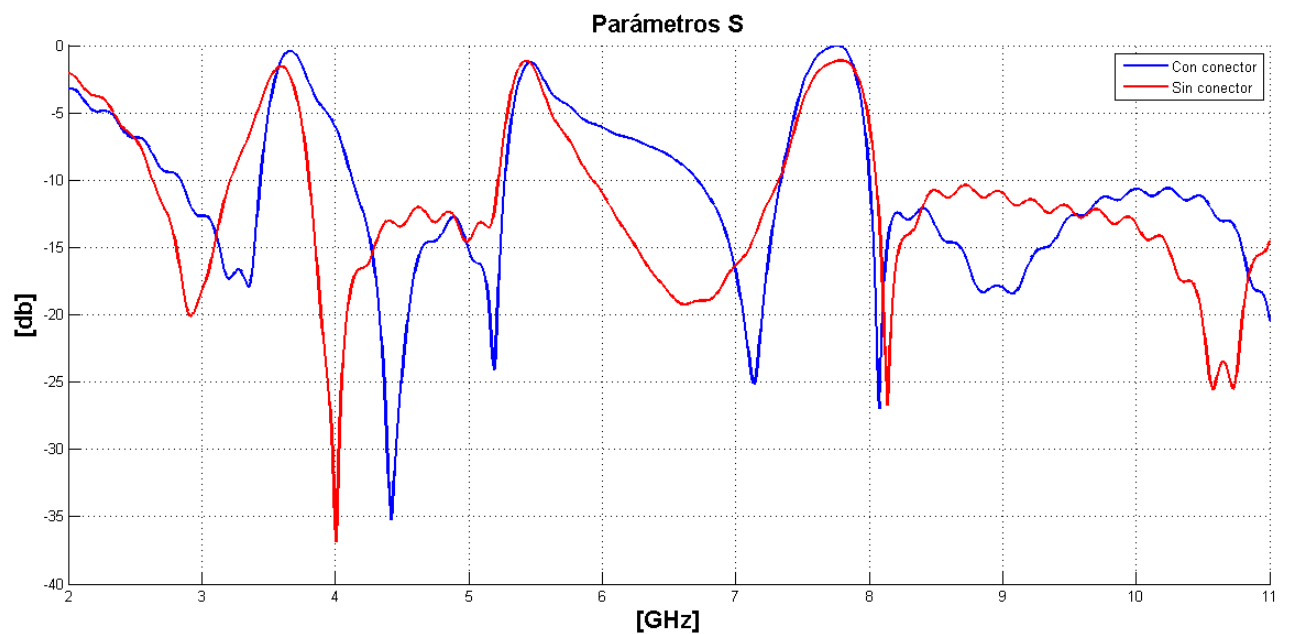


Figura 7-4: Comparación simulada de la antena circular con filtros

Como ya se comentó en el apartado 5.3.2, el filtro central es el que más cambia, produciéndose un aumento en su ancho de banda con descenso suave en dB, mientras los otros dos filtros son desplazados.

7.3.2 Comparación de antenas sin conector (simulada) y real

Observamos el resultado real y sin conector:

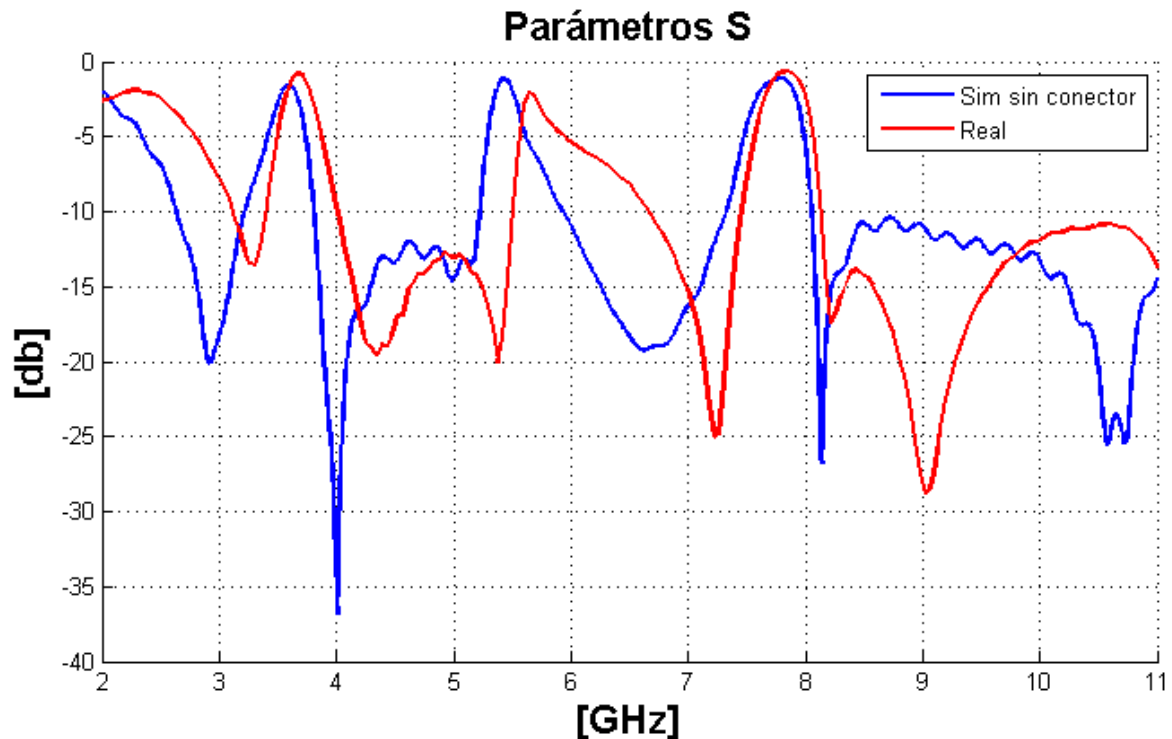


Figura 7-5: Comparación real y simulada (sin conector) de la antenna con filtros

Vemos que el primer filtro y el último sufren un desplazamiento, mientras que el central no sufre solamente un desplazamiento si no que presenta una caída más suave de la buscada, por lo tanto ya puede verse que la simulación con conector se va a asemejar más a la realidad, aunque se verá con más detalle en la siguiente subsección.

7.3.3 Comparación de antenas con conector (simulada) y real

Observamos los dos parámetros S₁₁:

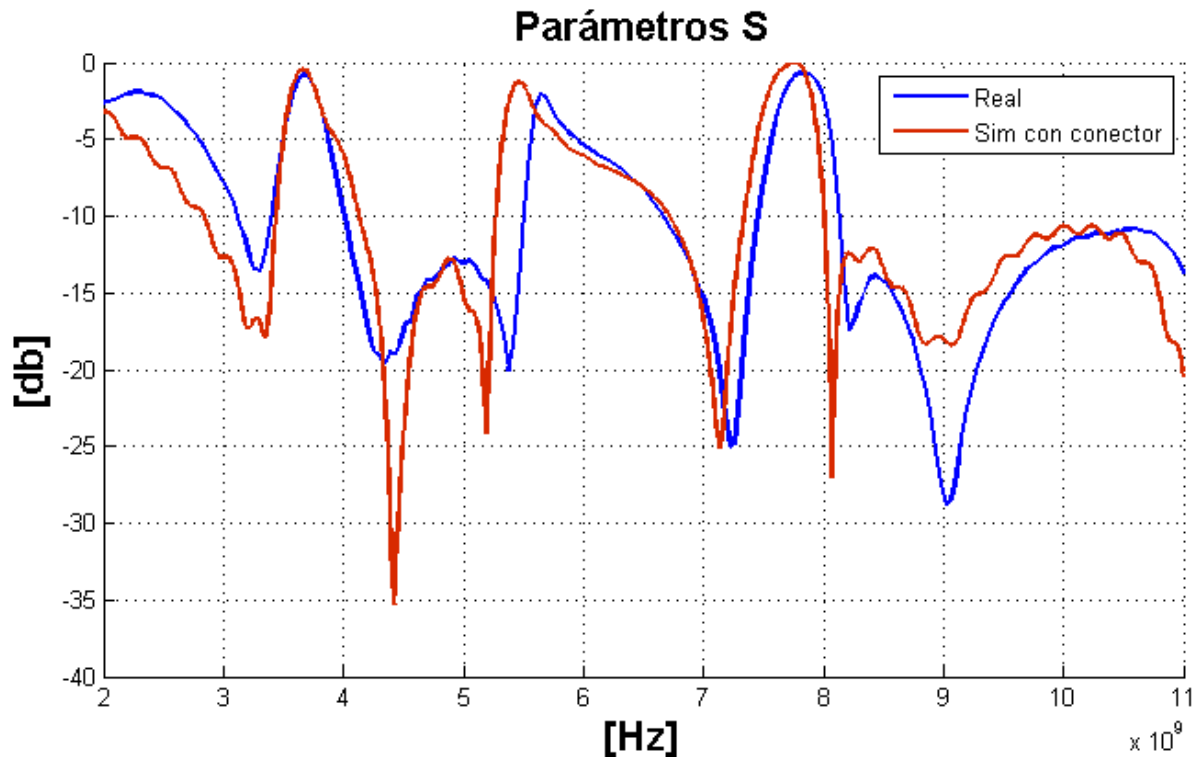


Figura 7-6: Comparación real y simulada (con conector) de la antena con filtros

Podemos ver que este resultado se asemeja mucho más en algunos puntos que el modelo anterior. Vemos como el primer filtro tiene una aproximación bastante buena, y que en el segundo se ha detectado la caída suave. Aunque ni en el segundo ni en el tercero ha sido posible detectar el desplazamiento producido hacia la derecha, esto ha podido ser por ejemplo, porque no hemos tenido en cuenta las soldaduras a la hora de dibujar el conector. Hay que tener en cuenta también que el desplazamiento en frecuencia de los filtros puede deberse a que las simulaciones se realizan con una constante dieléctrica fija ($\epsilon_r=2.17$) y dicha constante varía con la frecuencia. Otro aspecto que puede cambiar algo ϵ_r es que la fresadora al pasar para eliminar el cobre podría quizás eliminar algo de sustrato, por lo que la construcción podría cambiar ligeramente la reflexión.

7.4 Diseño principal con filtros y con conector

Tras las modificaciones realizadas en el apartado 5.4.2 vamos a observar las similitudes real y simulada de este último diseño.

Tras su impresión la antena tiene la siguiente forma:

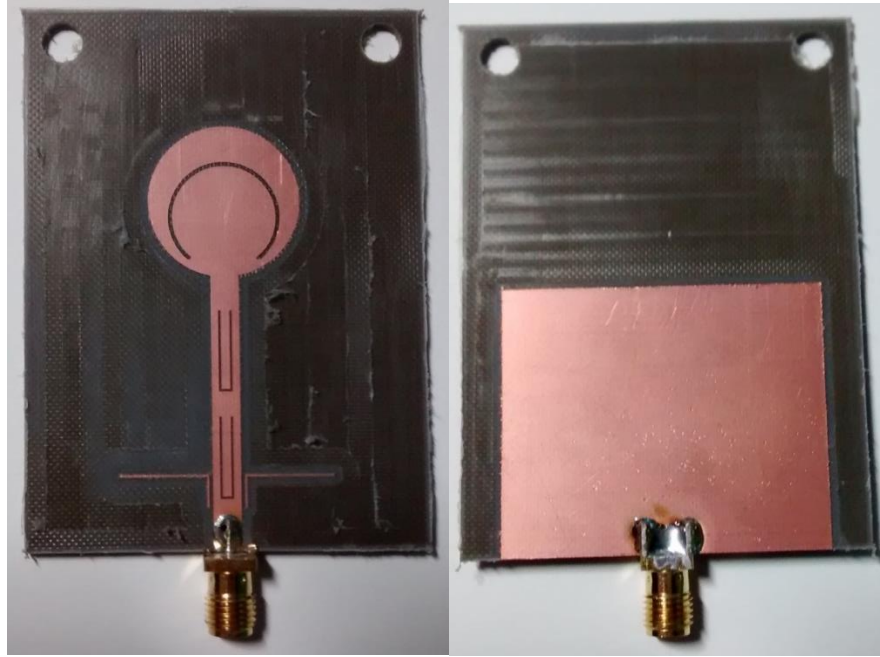


Figura 7-7: Fotografía de diseño con conector

Y el coeficiente de reflexión medido es el siguiente:

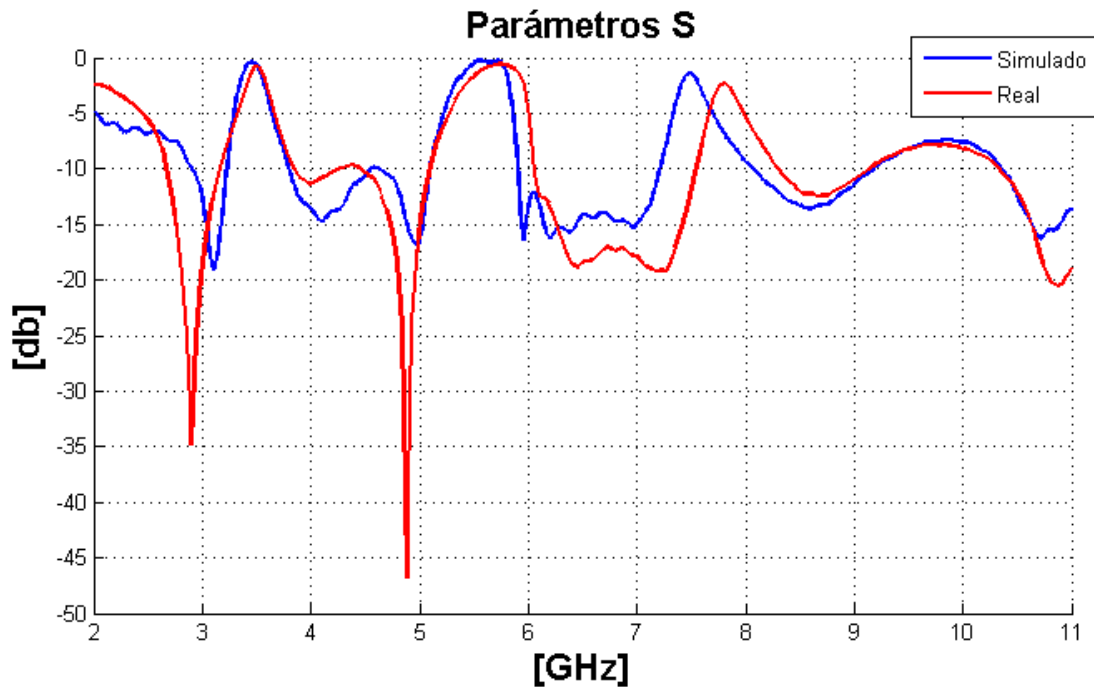


Figura 7-8: Comparación real y simulada de la antenna con filtros y conector

Puede observarse una gran similitud en ambas gráficas, sin embargo en este caso el tercer filtro ha sido desplazado casi 300 MHz (de 7.5 GHz a 8.3 GHz, pero manteniendo su forma).

8 Conclusiones y Trabajo Futuro

8.1 Conclusiones

Durante la realización de este TFG se han diseñado, construido y medido varios tipos de antenas impresas destinadas a funcionar en sistemas UWB. Para ello, se ha partido de antenas básicas UWB, modificando la forma del parche para adaptarla a cada caso particular y utilizando diferentes tipos de filtros.

En el Capítulo 5 se han diseñado varias antenas UWB, todas ellas sobre el sustrato TLY-5A ($\epsilon_r = 2.17$) y un espesor H de 1.575 mm con y sin filtros. La finalidad perseguida en este apartado es conseguir el mayor ancho de banda posible y el máximo rechazo de los filtros. También hemos podido ver los cambios que produce el conector dentro de cada simulación.

Se han utilizado filtros de banda eliminada para evitar interferencias con otros sistemas que se insertan en la propia antena para evitar un aumento de las dimensiones de la misma. Entre las técnicas utilizadas, cabe destacar:

- **Inserción de slots en el parche:** Se ha comprobado que proporcionan altos valores de rechazo, con la ventaja de no implicar un crecimiento de las dimensiones totales de la antena.
- **Inserción de slots en la línea de alimentación:** Se utilizan como alternativa a los anteriores, en los casos en los que no hay espacio suficiente en el parche para un segundo filtro. En general, se han utilizado en este TFG para los filtros de frecuencia superior (de menores dimensiones). Pueden afectar a la adaptación de la antena por encontrarse en la línea, pero proporcionan un filtrado excelente.
- **Inserción de slots en el plano de masa:** Pueden ser una alternativa a los anteriores. No han sido utilizados en este TFG
- **Adición de tiras metálicas alrededor del parche:** Pueden llegar a proporcionar altos valores de rechazo. En general suponen una ampliación de las dimensiones de la antena.

En el capítulo 6, se han diseñado antenas con diversidad de polarización formadas por dos elementos unitarios UWB, en el que uno presenta polarización vertical y el otro horizontal. El objetivo de este tipo de antenas es disminuir el efecto del multitrayecto y la difracción que pueden ocasionar cambios en la polarización de la señal transmitida.

Los filtros utilizados en este tipo de antenas son los mismos que los utilizados en los elementos unitarios.

Finalmente, se han llevado a cabo las medidas de las antenas con un analizador de espectros de la Escuela Politécnica Superior obteniendo así los parámetros S que aparecen en el capítulo 7.

A la vista de los resultados obtenidos en ambos casos, es recomendable utilizar un diseño de conector para la simulación lo antes posible, desde el diseño unitario, para que la corrección de errores se pueda producir en fases anteriores, y tener en todo momento resultados que se asemejen más a la realidad.

8.2 Trabajo Futuro

Existen numerosos campos de investigación en la tecnología UWB. Algunas de las líneas de trabajo futuro que se proponen son:

- Diseño de un array lineal utilizando como elementos unitarios las estructuras con filtros y diferentes tipos de redes de alimentación.
- Utilización de diferentes materiales y espesores con el fin de evaluar las ventajas e inconvenientes de cada uno de ellos.
- Mejora de los parámetros S de las antenas con diversidad de polarización.
- Utilización de otras líneas de transmisión y variación en el plano de masa.
- Utilización de diferentes técnicas para la inserción de filtros en la estructura de la antena.

Referencias

- [1] **Daniel Brande Hernández.** Diseño de nuevas antenas Ultra Wide Band con filtros notch integrados. 2012.
- [2] **Eva Modoro Lasa.** Diseño e Implementación de nuevas antenas Ultra Wide Band con filtros de rechazo de bandas integrados. 2014.
- [3] **Pritam S. Bakariya, Santanu Dwari, Manas Sarkar.** A triple band notch compact UWB printed monopole. 2015.
- [4] **Osama Haraz, Abdel-Razik Sebak.** UWB Antennas for Wireless Applications. 2013.
- [5] **Jorge A. Ruiz Cruz.** Fundamentos de transmisión y propagación de ondas. 2012.
- [6] **Jorge A. Ruiz Cruz.** Medios de transmisión, 2013.
- [7] **José Luis Masa Campos.** Antenas y compatibilidad electromagnética.
- [8] **Ramón J. Millán.** ¿Qué es UWB?

Anexos

A. Diferentes estéticas de diseño simulados sin conector

Diseño con forma de gato (sin conector)

Las posibilidades de las antenas microstrip implican que el usuario puede jugar con el diseño de su antena y darle formas determinadas a su gusto (hasta cierto punto) sin que esto afecte a el diseño del circuito, este es el primero de los 2 ejemplos, una antena en la que partiendo del diseño 5.2.2 hemos conseguido darle forma de animal:

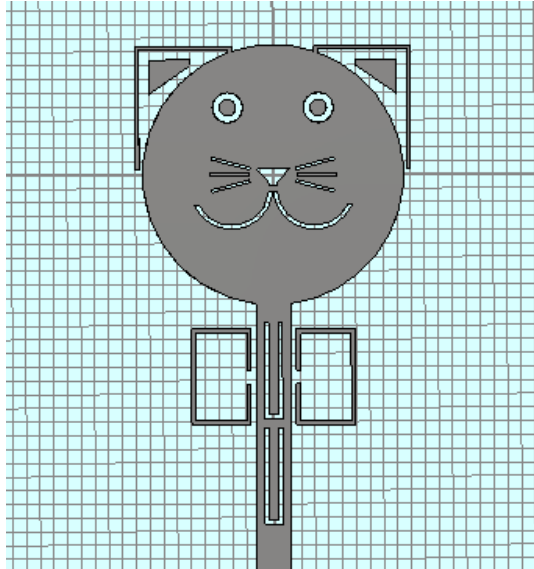


Figura A 1: Antena con forma de gato

Los cambios que se han llevado a cabo únicamente han sido la sustitución del filtro que se encontraba en el interior del parche y sustituirlo por un filtro externo al parche, es decir una línea de conductor que sobresale de nuestro parche circular.

El resto de elementos son únicamente decorativos, pues se han realizado con unas dimensiones de longitud lo suficientemente pequeñas para que no afecten a las frecuencias que estamos trabajando (probablemente afectarían a frecuencias superiores debido a sus dimensiones).

La suma total de este filtro es de 16.5 mm.

Para una constante dieléctrica efectiva de 1.585 (visto en el apartado anterior) la longitud teórica del filtro viene dada por:

$$L_{\text{filtro}} \approx \frac{\lambda_0}{4\sqrt{\epsilon_e}} = \frac{c}{2f\sqrt{\epsilon_e}} = \frac{3 \cdot 10^8 \frac{m}{s}}{2 \cdot 3.5 \cdot 10^9 \text{GHz} \sqrt{1.585}} = 17.02 \text{ mm}$$

A continuación se presenta el coeficiente de reflexión de la antena:

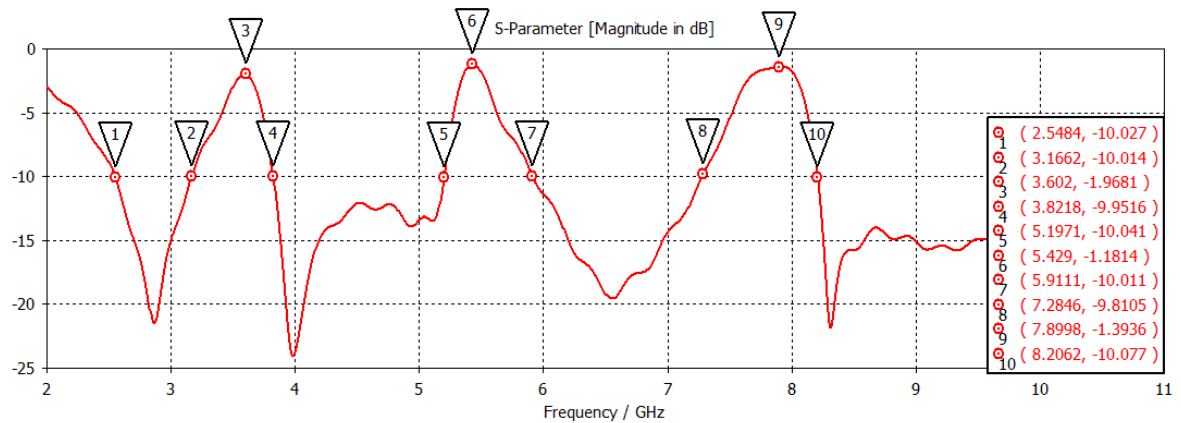


Figura A 2: coeficiente de reflexión de la antena con forma de gato

El filtro funciona con su máximo en 3.6 GHz y con un ancho de banda que abarca la banda que debe eliminarse.

El filtro a 5.5 GHz no ha sufrido ninguna distorsión, sin embargo el filtro que funciona a 7.5 GHz ha aumentado 200 MHz su banda. Como está formado por dos filtros en forma de U, es posible que estos se hayan separado un poco debido a la inserción de los elementos dentro del parche.

Diseño con forma de robot (sin conector)

En este caso cambiamos la forma del parche a una forma poligonal, y sustituimos el filtro formado por una forma circular por dos formas circulares unidas entre sí:

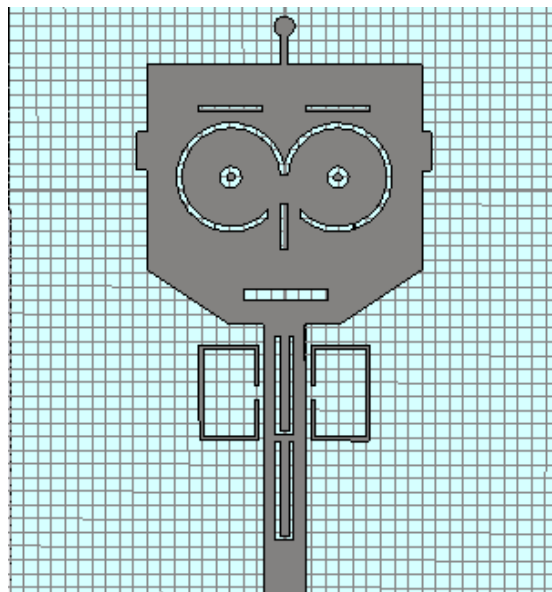


Figura A 3: Antena con forma de robot

También se han añadido algunos detalles los suficientemente pequeños para que no afecten a los parámetros deseados del circuito.

Los filtros a 5.5 GHz y 7.5 GHz de frecuencia central siguen manteniéndose, sin sufrir cambio alguno.

La longitud teórica aproximada para este filtro, vendría a ser la misma que la calculada en el apartado 5.2.2, usada para el diseño principal:

$$L_{filtro} \approx \frac{\lambda_0}{2\sqrt{\epsilon_e}} = \frac{c}{2f\sqrt{\epsilon_e}} = \frac{3 \cdot 10^8 \frac{m}{s}}{2 \cdot 3.5 \cdot 10^9 GHz \sqrt{1.585}} = 34.04 mm$$

Los radios del filtro son:

Radio exterior: 4 mm

Radio interior: 3.5 mm

La gráfica simulada de su coeficiente de reflexión es la siguiente:

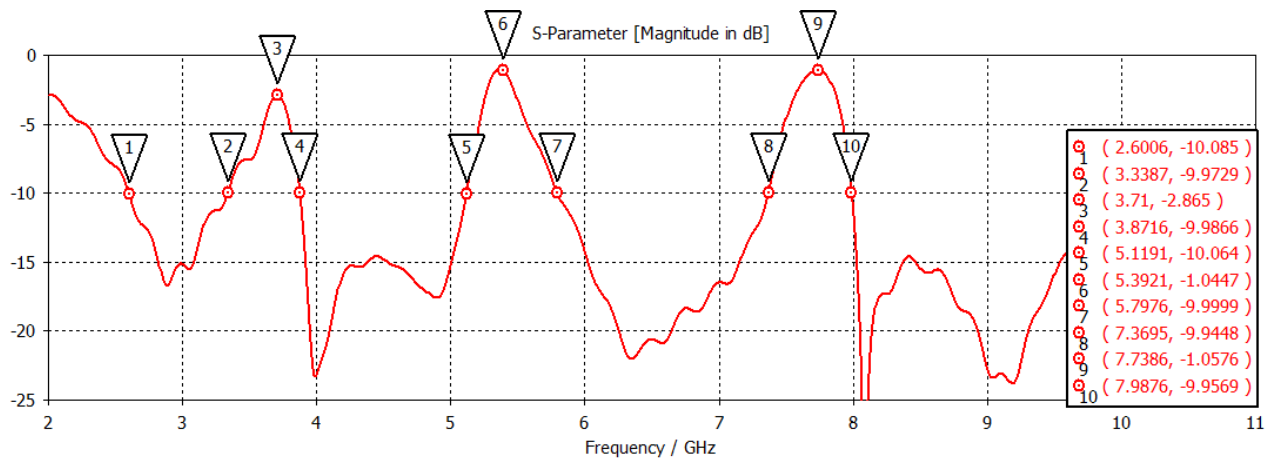


Figura A 4: Coeficiente de reflexión de la antena con forma de robot

Se puede ver el filtro de frecuencia central 3.7 GHz algo más distorsionado que en casos anteriores, quizás por el diseño que se le ha dado, mientras que los otros dos filtros están inalterados con respecto al diseño principal.

B. Diferentes estéticas de diseño simuladas con conector

Diseño con forma de gato (con conector)

Este es el diseño tras la unión de su conector:

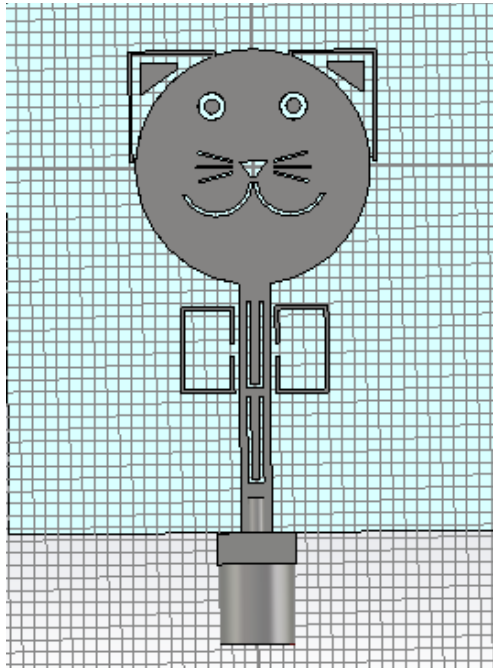


Figura B 1: Antena con forma de gato y conector

Se procede a mostrar los cambios producidos por añadir el conector a la simulación en los parámetros S11:

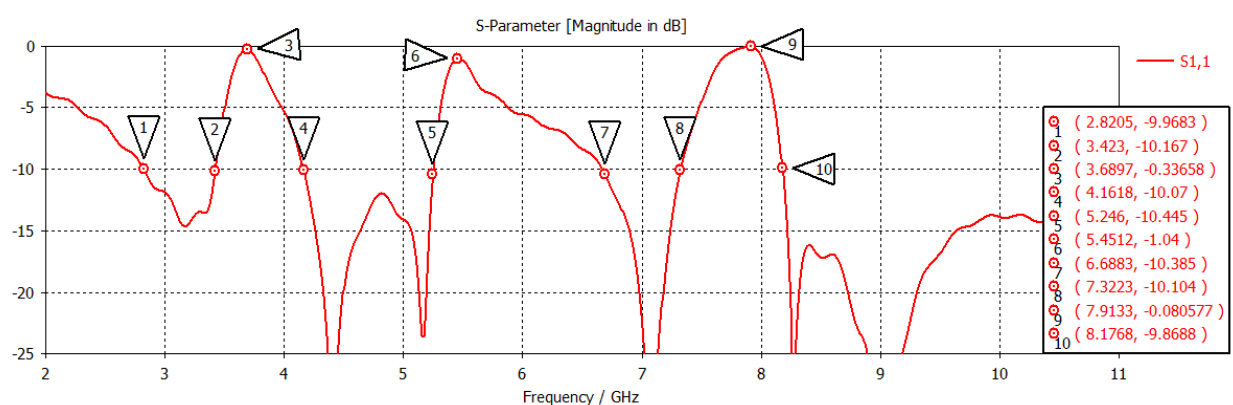


Figura B 2: Coeficiente de reflexión de la antena con forma de gato y conector

Puede verse que la gráfica se asemeja mucho a la del apartado anterior ocurriendo los afectos más adversos sobre el filtro intermedio.

Diseño con forma de robot (con conector)

Se muestra el diseño después de la unión del conector:

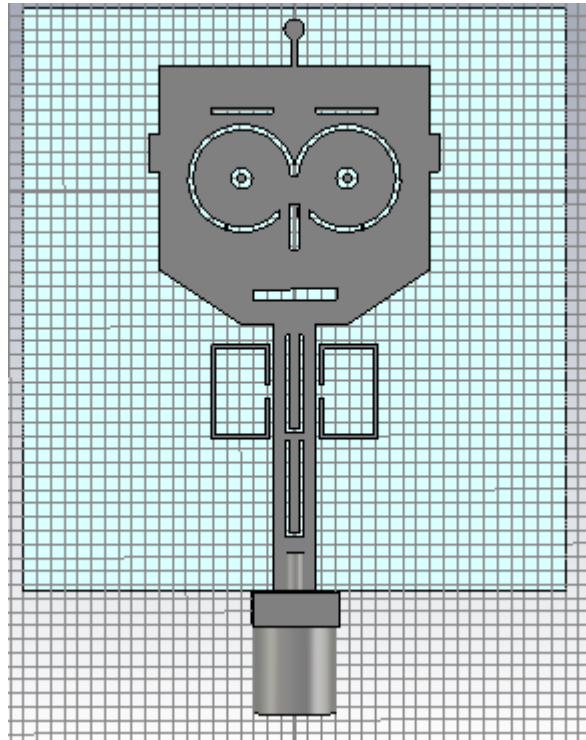


Figura B 3: Antena con forma de robot y conector

Tras la simulación la reflexión es la siguiente:

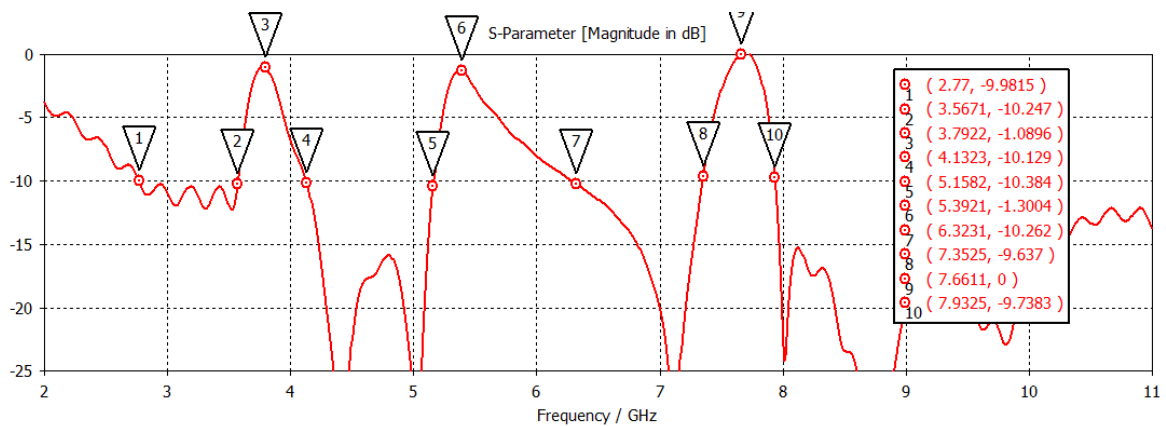


Figura B 4: Coeficiente de reflexión de la antena con forma de robot y conector

Vemos de nuevo el mismo efecto que se produce sobre los dos diseños anteriores, que son el desplazamiento del primer filtro 200 MHz y el desplazamiento del segundo junto con un aumento de ancho de banda y caída suave desde su máximo.